هاني رزق



من الانفجار الأعظم
إلى الاستنساخ البشري



الرقم الاصطلاحي: ١٧٤١,٠٣٢
الرقم الدولي: ISBN:1-59239-254-7
الرقم الموضوعي: ٥٠١
الموضوع: الموسوعات العلمية
العنوان: موجز تاريخ الكون
التأليف: الدكتور هاني خليل رزق
الإشراف الفني: محمد معتز التيناوي
التصويرالزنكوغرافي: مركز الفوال - دمشق
التنفيذ الطباعي: المطبعة الهاشمية - دمشق
عدد الصفحات: ٤٤٨ صفحة
قياس الصفحة: ٢٠ × ٢٨سم
عدد النسخ: ١٠٠٠ نسخة

دار الفكر بدمشق

برامكة مقابل مركز الانطلاق الموحد
ص.ب: (٩٦٢) دمشق-سورية
فاكس: ٢٢٣٩٧١٦
هاتف: ٢٢٣٩٧١٧ — ٢٢١١١٦٦
http://www.fikr.com/
e-mail: info@fikr.com

دار الفكر
٢٠٠٣ الطفولة
امانة ومستقبل

الطبعة الأولى

رمضان ١٤٢٤هـ

تشرين ٢ (نوفمبر) ٢٠٠٣م

هاني خليل رزق

موجز تاريخ الكون

من الانفجار الأعظم إلى الاستنساخ البشري



آفاق معرفة متجددة

بسم الله الرحمن الرحيم

موجز تاريخ الكون

من الانفجار الأعظم إلى الاستنساخ البشري

إلى:

"ليلى"، "سامر"، "رندة

تنويه:

إن العمل لم يكن ليرى النور لولا وجود

"ليلى مسوح"

علماً وتضحيةً

المحتوى

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

التعريف بالكتاب

إن هذا الكتاب الموجز تثقيفي الغرض، علمي الهدف. لقد كُتب كي يحقق غرضين اثنين: الأول تقديم حقائق علمية مبسطة يستقي منها العامة معارف، توضح لهم أفكاراً ومفاهيم (قد تكون غامضة في أذهانهم) عن أصل الكون (أمِّنا الطبيعة) عند حصول ما اتفق العلماء على تسميته « الانفجار الأعظم The Big Bang »، وما احتسبوه البداية الأولى للمكان وللزمن ذوي الأبعاد الأربعة (قبل ثلاثة عشر مليار سنة تقريباً)، وأدّى (فيما بعد) إلى تشكل أكثر من مئة مليون مجرة (كمجرتنا مجرة درب التبانة أو الطريق الحليبية)، تحوي كل واحدة منها قرابة مئة مليار نجم. كما تُبيّن لهم هذه المعلومات آلية تكوّن المادة بدءاً من كتلة صغيرة هائلة الطاقة والكثافة والسخونة، وعلاقة العالم اللاعضوي - المعدني - (في كوكبنا الأرض على الأقل) بالعالم العضوي، وبالجزيئات الكِبرية macromolecules، macromolécules، والبيولوجية منها على وجه التخصيص. كما تقدم لهم هذه المعارف أفكاراً موضوعية عن أصل الحياة قبل أكثر من أربعة مليارات عام، وعن ظهور الكائنات الحية وحيدات الخلية وعديدات الخلايا، والحيوانية منها خاصة، وعن ظهور الإنسان الأول قبل ثلاثة ملايين عام، وتطوره العلمي والتقني.

أمَّا الغرض الثاني من كتابة هذا الموجز، فهو أكثر عمقاً وتخصصاً من الغرض التثقيفي، يوضح (بحواشٍ قد تكون مسهبة أحياناً، ذُيلت بها الصفحات)¥ حقائق علمية معمقة بعض الشيء، تتعلق ببنية الكون، وبتركيب المادة الأولى وتحولها إلى عناصر لا عضوية، ومن ثم إلى مواد عضوية، ودور ذرتي السيليسيوم والكربون في الانتقال من العالم اللاعضوي إلى العالم العضوي. كما ستتناول هذه الحقائق العلمية (وفقاً لأكثر الفرضيات احتمالاً) نشوء الجزيئات البيولوجية بالانتقال من عالم بلورات الصلصال (clay، argile) التي تنمو وتنقسم وتطفر وتستقلب) إلى عالم الحمض النووي الريبي (اختصاراً RNA، ARN) الذي تطور إلى العالم الحالي الأكثر ثباتاً، عالم الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (ADN, DNA)، الذي يشكل جيناتنا (مورثاتنا). كما ستتناول هذه المعارف تشكّل الخلايا الحية الأولى، والانتقال من وحيدات الخلية إلى عديدات الخلايا، وآلية تمايز (تخصص) أو تباين مجموعات الخلايا لتشكل النسج المختلفة والأعضاء والأجهزة في عديدات الخلايا عامة. كما ستعرض هذه الحقائق العلمية إلى أحداث كبرى في تاريخ الحيوانات العليا، وسيُخص بالذكر منها ظهور الجهاز المناعي وتطوره بهدف التخلص من

¥ جرياً على ما سرنا عليه في قسم «بيولوجيا الاستنساخ» من كتاب: «**الاستنساخ: جدل العلم والدين والأخلاق**»، منشورات «دار الفكر»، دمشق 1997، فإن الحواشي أُعطيت أرقاماً مرفوعة بين هلالين مسبوقة برقم الفصل، والمراجع أرقاماً مرفوعة. وستطبع الحواشي وكذلك شروح الأشكال بأحرف أصغر قداً من أحرف النص. كما سيرد كل مصطلح علمي باللغتين الإنكليزية والفرنسية. وبدهي أن الرقم «مليار» يساوي ألف مليون، أو 10^9 وهذه هي أيضاً قيمة البليون في الولايات المتحدة مثلاً. أمَّا في فرنسا وبلدان أخرى، فإن البليون يساوي مليون مليون، أو 10^{12}. وتبسيطاً للأمور، فإننا سنعتمد في هذا الكتاب تعبير « مليار». كما أن mega تساوي مليون، وgiga تساوي مليار، وtera تساوي 10^{12}، و micro تساوي 10^{-6}، و nano تساوي 10^{-9}، و pico تساوي 10^{-12}، و femto تساوي 10^{-15}،

الطفيليات (والفيروسات منها على وجه التخصيص)، والعلاقة الوظيفية التي نشأت بين هذا الجهاز وجهازين آخرين هما: الجهاز الهرموني والجهاز العصبي ذوي الوظائف التنسيقية بين خلايا الجسم نفسه، وبين أجهزة الجسم الأخرى والبيئة (الوسط). كما سيُعمد إلى شرح آلية عمل الجينات (في الإنسان خاصة)، والهندسة الجينية، ومشروع الجينوم البشري gènome , genome، والمعالجة الجينية، وإنتاج الجزيئات البيولوجية العلاجية، ودور الاستنساخ في هذه النواحي الأربع من موضوعات البيولوجيا الجزيئية. ولا بد من التأكيد هنا أنَّ هذه الموضوعات ستُعالج من حيث تأثيراتها على مجمل سيرورة تطور النوع البشري. وستنطوي خاتمة هذا الكتاب على عرض موجز جداً لتطور الإنسان التقاني والحضاري، وللآراء التي تُطرح حالياً حول مستقبل الإنسان ومصيره، ولسهم (مفهوم) الزمن.

إنَّ تحقيق الغاية العلمية لهذا الكتاب تستدعي معالجة موضوعاته في ثلاثة أقسام، تعكس مراحل أمتع قصة رواها الكون عن نفسه. إنَّها حكاية الانتقال من الأبسط بنية إلى الأعقد تركيباً، ومن الأقل فاعلية وكفاية إلى الأشد تأثيراً وأداء. إنَّه الانتقال من الطاقة إلى المادة البسيطة التركيب (مرحلة تقترن فيها الفيزياء بالفلك)، ومن ثم إلى المواد اللاعضوية والعضوية (حيث تلعب الخصائص الكيميائية الدور الأول)، وأخيراً الانتقال إلى المادة الحية (أي دور شكل الجزيئات الكبرية في أدائها لوظائفها). وهكذا، فإنَّ هذا الكتاب سيشتمل على الأقسام التالية: التطور الفيزيائي الفلكي للكون، والتطور الفيزيائي الكيميائي، والتطور البيولوجي. ولأسباب موروثة في طبيعة التكوين العلمي للمؤلِّف، فإنَّ القسم الخاص بالتطور البيولوجي سيكون أكثر عمقاً، وأوسع تفصيلاً.

أما في ما يتعلق بالهدف العلمي لهذا الكتاب، فيتمثل بصياغة نظرية، تفسر تطور المادة عموماً، والمادة الحية على وجه التخصيص. فمن المعلوم أن الشرط الأساسي لأي جملة حية كي تتطور في المكان والزمن، أن تكون قادرة على الاستمرار (التنسخ أو التوالد)، وعلى التغير (الطفر). ويُعَدُّ التنافسُ أساساً للانتقاء الطبيعي من جهة، ومحركاً للتطور التصادفي وفقاً للمفهوم الدارويني من جهة أخرى. ولكن، وكما سيتضح من خلال فصول هذا الكتاب، فإن التطور كان وما يزال موجهاً نحو هدف منطقي محدد وذي معنى، لا مكان للتصادفية فيه، تقوده (منذ الانفجار الأعظم وحتى الآن) قوى الطبيعة الأربع، والقوى التكافؤية واللاتكافؤية المنبثقة عنها. إن هذه القوى هي إرادة الله. وخلافاً لمفهوم التنافس الدارويني الذي ما يزال -من حيث البرهان التطبيقي- غامضاً، فإن فعل القوى الطبيعية يقدم تفسيراً أنيقاً لهذا التنافس، الذي يحدث أساساً في مستوى الذرات والجزيئات، استجابة لفعل هذه القوى. فالذرات والجزيئات الأفضل أداءً وكفايةً، تسود على الذرات والجزيئات ذات الأداء والكفاية الأقل.

وغني عن البيان أنَّ هاجسنا الأساسي (في عرض مادة هذا الكتاب) هو التبسيط الشديد (ولكن ليس على حساب المادة العلمية)، وتجنب استعمال صيغ فيزيائية معقدة بحيث يصبح فهم مادة هذا الكتاب في متناول أكبر عدد ممكن من محبي المعرفة. وبالنظر إلى أنَّ هذه المادة العلمية تدخل في نطاق المعرفة التثقيفية الشائعة نسبياً، فإنَّنا اقتصرنا (في الإشارة إلى المراجع) على أشدِّ الضرورات إلحاحاً. ويُفترض أن تُدخل قراءةُ هذا الكتاب المتعةَ إلى نفس القارئ جرياً على المثل الفرنسي « Le savoir faire plaisir »؛ أي ما معناه « المعرفة تجلب المتعة ». وأخيراً، لا بد لي أن ألتمس العذر ممن يجد تكراراً لبعض جوانب هذه المعرفة. وإذا كنا تعمدنا هذا التكرار، فلترسيخ هذه المعرفة أكثر فأكثر في ذهن القارئ.

هذا، ويسعدني أن أتقدم بالامتنان والشكر إلى من قام بمراجعة هذا الكتاب، وقوَّمه لغوياً، وأغناه بأفكاره الأصيلة، وبمناقشاته الثرة، إلى من رغب في ألاَّ يذكر اسمه، إلى أستاذنا خلقاً وسلوكاً، إلى من نسميه « الإنسان القدوة »، فله ولمُثُله التي يجسدها في سلوكه اليومي احترامي وعرفاني بالفضل.

كما ويطيب لي أن أشكر بتقدير واحترام السيد « نيكولا زايمس Nicolas Zeimes » من « ستراسبورغ Strasbourg » الذي كان لآرائه أطيب الأثر في الأفكار التي وردت في هذا الكتاب.

ويسرني، أخيراً، أن أثمن عالياً الجهود التي بذلتها مؤسسة « دار الفكر » بدمشق في نشرها هذا الكتاب، ممثلةً بمديرها الأستاذ محمد عدنان سالم، والمحرر العلمي في الدار السيد صُهيب الشريف، وبكل من أسهم في نشر وإخراج هذا المؤلَّف. فلهذه الدار شكري وامتناني.

دمشق، في 10 / 04 / 2003

هاني رزق

مقدمة عامة

**"Le seul gage du savoire est le pouvoir,
pouvoir de faire ou pouvoir de predire ,
tout le reste est literatur
Varieté. Questions de poésie. Paul Valéry (1871 - 1945)**

**« إنَّ الضمان الوحيد للمعرفة هو المقدرة؛
المقدرة على الفعل أو المقدرة على التنبؤ،
كل ما تبقى مجرد أدبيات »
« بول فاليري » (1871 - 1945)**

مما لا لبس فيه أَنَّ الاكتشافات العلمية التي حدثت، والإنجازات التقنية التي تحققت خلال مئة العام الفائتة (1890 ـ 1997) فاقت حدود تصور أَشدِّ العلماء مقدرة على التخيل. ومع أَنَّ تراكم المعارف خلال القرن الماضي، أدَّى إلى حدوث عدد من الاكتشافات الكبيرة في تاريخ العلوم في العقد الأخير من ذلك القرن [اكتشاف الإشعاع في العناصر الطبيعية ـ الراديوم ـ من قبل «ماري كوري» Marie Curie (1867 ـ 1934)، التي نالت جائزة نوبل مرتين، و«بيير كوري» Piere Curier (1859 ـ 1906)، والأشعة السينية من قبل «فيلهلم كونراد رونتجن» Wilhelm Conrad Rontgen (1845 ـ 1923)، والإلكترون من قبل «جوزيف جان تومسون» Joseph John Thomson (1856 ـ 1940)، وصبغيات الخلية من قبل « ولتر فليمنغ» Walter Flemming (1843 ـ 1905)؛ واللقاحات من قبل « لوي باستور» Louis Pasteur (1822 ـ 1895)، وغيرها]، فإنَّ اكتشافات النصف الثاني من القرن الماضي أتاحت للإنسان دراسة الكواكب الأخرى، حتى خارج مجرتنا. إنَّه أمر لم يكن يحلم به أحد قبل قرن واحد فقط من الزمن. إنَّ هذه المدة (التي تقل عن 70 مليون مرة عن عمر الحياة، وستين ألف مرة عن عمر النوع البشري)، سمحت بمعارفها للإنسان بأن يذهب إلى تخوم، عادت فيها الفلسفة (كما كانت قبل ثمانية آلاف عام، أيام حضارات ما بين النهرين، حيث لم يكن لدى الإنسان، كأداة للتفرس في الكون ودراسته، سوى ذكائه وحدسه) لتمتزج بالعلم من جديد. فالمسابير probes، sondes التي تستكشف النظام الشمسي؛ والأنواع الفضائية للمقاريب telescopes، télescopes التي تجوس الفضاء؛ معكرة صفاء الكواكب والمجرات؛ والمسرعات accelerators، accélérateurs العملاقة (التي تتيح تصادماً بين الجسيمات العنصرية، تزيد طاقته عن أربع مئة جيف ـ GeV، G من giga أي مليار، و e من electron، و V من volt، أي أربع مئة مليار إلكترون فولط، ويتوقع أن تكون طاقة الجيل القادم بضعة آلاف جيف) للجسيمات العنصرية للمادة التي

تخط اللحظات الأولى من عمر الكون، والحواسيب computers، ordinateurs التي ترسم برامجها (بالمحاكاة) الصور الأولى لظهور الحياة على كوكبنا الضئيل حجماً، وتقنيات البيولوجيا الجزيئية التي تصحح (بالمعالجة الجينية وبالاستنساخ) مرضاً وراثياً معيناً. إنّ هذه الأدوات الجبارة (ثمرة التقدم المذهل في العلوم الأساسية) أتاحت للإنسان الإجابة بدقة كبيرة على أسئلة كانت تؤرقه منذ أن أدرك حقيقة وجوده، ومنذ أن تيقنَ من حتمية الموت.

فغالباً ما تساءل الإنسان عن سبب وجوده وعن ماهية هذا الوجود، ولماذا يوجد أصلاً كونٌ، ولماذا نحن هنا، ومن أين أتينا كبشر، وإلى أي مآل سنؤول؟ إنّ المنطق يفرض (إذا ما توفرت المعرفة) أن نجيب على التساؤل « لماذا » بالتفسير « لأنّ ». فالإنسان يتساءل، والدين أو الإيمان أو الاعتقاد أو المعرفة العلمية (كل كما يعتنق) يجيب بـ« لأنّ ». ومما لا ريب فيه أَنّ بوسعنا كتابة قصة الكون (منذ حدوث الانفجار الأعظم أو بدء ولادة الكون، حتى عصرنا الحالي) كملحمة مستمرة في سرد حكاياتها، ذات الأحداث الخلابة. وربما ستستمر(في ما يتعلق بكوكبنا) خمسة مليارات سنة أخرى، حيث تتحول الشمس إلى قزم أبيض: جثة هامدة سوداء، ضئيلة الحجم، هائلة الكثافة.

إنّنا نحمل أحداث هذه القصة في أعماقنا. فأجسامنا تتكون من ذرات الكون الأولى. وتحتبس خلايانا قطرات من المحيط البدئي. وتشترك ذخيرتنا الوراثية بمعظم جيناتنا مع كائنات حية أخرى (يبلغ الفرق بين جينوم الإنسان وجينوم الشمبانزي اثنين في المئة فقط). ويحمل دماغنا طبقات تطور الذكاء، موروثة منذ مئات ملايين السنين. إنّنا نعيش على كوكب ضئيل جداً (يُعَدُّ من الجيل الثالث أو الرابع بعد الانفجار الأعظم) إذا ما قورن بالكواكب الأخرى في مجرتنا، ويتناهى كثيراً في الضآلة إذا ما حُدد هذا الكوكب بمقاييس الكون. وكما أوضح لنا «نيكولاوس كوبرنيك» Nicolaus Copernicus (1473 - 1543)، والفلكي الدانمركي الأرستقراطي «تيخو براهي» (Tycho Brahe 1546-1601)، والرياضي الفلكي الألماني «جوهانس كبلر» Johannes Kepler (1571 ـ 1630)، والفيلسوف الإيطالي «جيوردانو برونو» Giordano Bruno (1548 ـ 1600)، الذي أُحرق حياً في 16 تموز-يوليو-من ذلك العام في روما بسبب رفضه قبول فكرة أَنّ الأرض تشكل مركز الكون) [1]، ثم «غاليليو غاليلي» Galileo Galilie (1564 - 1642)، وفلكيون آخرون، فنحن لا نشكل أبداً (كما اعتقد فلاسفة اليونان، وعلى رأسهم « أرسطو ») مركز الكون. إنّنا نقطن أطراف مجرة متواضعة الحجم.

وتقتضي الاكتشافات العلمية التي حدثت في الثلث الأخير من هذا القرن أن نعيد النظر في عدد من المفاهيم التي رُسِّخت في أذهاننا. ويمكن القول مثلاً أنّ بوسع الحياة أن تنشأ تلقائياً من مواد لا حية، خلافاً لما أوحى به «لازارو سبالانزاني» Lazzaro Spallanzani (1729 ـ 1799)، و« لوي باستور » Louis Pasteur (1822 ـ 1895)، في نقضهما لنظرية التكّون الطوعي، أو التلقائي spontaneous generation، génération spontanée التي كانت سطحية المضمون، وساذجة القصد، ومعتلة الصياغة. وقد لا تكون شجرة التطور البيولوجي (كما يعتقد البعض دونما برهان علمي راسخ) التي يمكن اشتقاقها من نظرية « تشارلز داروين » Charles Darwin (1809ـ1882) هي الوحيدة من نوعها، أو الصحيحة فعلاً. وقد لا نكون نحن بالضرورة البشر الأكثر تطوراً ورقياً في هذا الكون. إذ قد تتوفر الظروف نفسها (التي سببت نشوء حياة ذكية على الأرض) في كوكب آخر من مجرتنا، أو حتى في كواكب أخرى من مجرات خارج مجرتنا (أمر يستحيل حالياً البرهان عليه).

1 . Allègre , C. ," **Dieu Face à la Science**" ، Fayard , Paris 16 (1997).

فلا بد من التأكيد أنّنا عندما نتحدث عن قصة تطور الكون إنما نعني الأحداث التي طرأت على هذا الكون منذ ثلاثة عشر مليار سنة حتى يومنا هذا. **إنّنا نتحدث عن تطور المادة، ومن ثم الحياة من الأشكال الأكثر بدائية من حيث التركيب والبنية، إلى الأشكال الأكثر تعقيداً، ومن الأداء الوظيفي الأشد بساطة إلى الأكثر تخصصاً وفاعلية**. ومع أنّنا سنعرض إلى موضوع تطور المادة في القسم الخاص بالتطور الفيزيائي الفلكي من هذا الكتاب، وإلى موضوع تطور المادة الحية (بمفهوم أفكار هذا الكتاب) في القسم الخاص بالتطور البيولوجي، فإن الضرورة تقتضي إيضاح موقف العلميين من نظريتي التطور [2]، والخلق (أو التصادفية ـ العشوائية ـ، والتطور الموجه).

وكما كنا عرضنا، فإن الارتقاء من الأبسط بنية والأقل أداء، إلى الأعقد تركيباً والأكثر فاعلية وكفاية، قد يحمل في ثناياه مفهوم التطور. ولكن علينا في الوقت نفسه أن نؤكد المعنى والمنطق اللذين سادا هذا الارتقاء. وأن نبين أيضاً أن هذا التطور انتقل باستمرار (منذ ولادة الكون، أو منذ حدوث الانفجار الأعظم وحتى اليوم)، من عدم الانتظام (من الفوضى والعشوائية وعدم الاتساق) إلى الانتظام والتناسق. أي يمكن القول (وبتحفظ فيزيائي واضح) أنّ تطور المادة الحية (وقبل ذلك المادة اللاحية التي نشأت من الانفجار الأعظم) سار، من حيث النزوع إلى الانتظام، بعكس المبدأ الثاني للترموديناميك (ومفهوم الأنتروبية [1] entropy ، entropie، الذي يشتمل عليه هذا المبدأ) الذي يحكم طاقة الجمل الفيزيائية والكيميائية في عالم اليوم. وليست هذه الملاحظة العابرة (والتي سنفصلها لاحقاً) سوى تعبير مباشر عن تطور وارتقاء من الأبسط إلى الأعقد، يحكمهما منطق معين.

ولكن العلم لدى التطوريين يرفض أن يكشف عن وجود قصد في هذا الارتقاء. ويرى أصحابه أنه لا يمكن تأكيد أنّ نشوء حياة ذكية على كوكب الأرض كان أمراً محتوماً. ويلاحظ هذا العلم أنّه ليس بوسع أحد إحصاء عدد السبل غير المثمرة التي سلكها التطور قبل أن يحقق هذه النتيجة الفذة، المتمثلة بظهور الإنسان.

ولكن، وعلى الرغم من هذا، تبقى الطريقة، التي اتبعها التطور في ارتقائه(من الأبسط إلى الأعقد ومن الأقل أداءً إلى الأكثر فاعلية وتخصصاً) اللغز المحير حتى لباحثي التطور. **ويمكن القول (وفقاً لمنطق جدلي) إنّ المادة (لا تبتكر)، وإنّ الطبيعة (لا تخلق) بالضرورة الأفضل، وإنّ الكون (لا يعرف) أن (يعين) لنفسه هدفاً محدداً**. إن الكائنات الحية مثلاً تستطيع (في وسط مستمر التغيير) أن تتحول، متكيفة مع الظروف البيئية الجديدة، وكأنها تمتلك (في كل مرة) المقدرة على إحداث سلسلة من التغيرات (الطفرات الجينية)، تمكنها دائماً من انتقاء الخيار الأفضل. ومع أنّ الانتقاء الطبيعي natural selection، sélection naturelle هو محرك التطور، فإنه يعجز عن تفسير هذا التكيف الأمثل. إن مثل هذه الجاهزية المذهلة للتكيف مع تغيرات البيئة تتعارض كلياً مع التصادفية والعشوائية وقوانين الاحتمال. إنّ هذه الناحية بالذات من القصة الرائعة للكون تستوجب التوفيق بين المعرفة العلمية والإيمان الفلسفي.

2.من أجل الوقوف على جدل مسهب ومعمق، يدور بين علماء غربيين مرموقين في ما يتعلق بنظريتي التطور (التصادفية) والخلق (الغائية)، يمكن الرجوع (على سبيل المثال) إلى الأعداد، والصفحات ذوات الأرقام التالية من مجلة : **La Recherche** no. **283** (1996) Pp. 86 -90, no. **286** (1996) Pp. 90-93 , no. **287** (1996) P.5, no. **291** (1996) Pp. 52-59 , no. **292** (1996) Pp. 88-92 , no. **294** (1997) Pp. 8-9.

(1) ينص المبدأ الثاني للترموديناميك (التحريك الحراري) الذي وضعه الفيزيائي الفرنسي «سادي كارنو » Sadi Carnot-1832-1796 أنّ الطاقة الحرة (المنتجة لعمل ما) لجملة من الجمل، تنزع باستمرار إلى النقصان بسبب ميل جزيئات هذه الجملة إلى التبعثر العشوائي (أو مايعرف بالأنتروبية التي هي معيار الفوضى لجملة من الجمل، ومقياس دقيق للزمن). فمثلاً، تنزع جزيئات غاز ما، توجد في حيز مغلق، إلى الإفلات والتبعثر، ←

ولا بد من البحث والتأمل بغية الوصول إلى حقيقة أنَّ العلم لا يناقض الإيمان، وأنَّ أحدهما لا ينكر الآخر. **وما من تفسير إلاّ وبعده تفسير أعمق**. وكما يقول «باستور» : « قليل من العلم يُبعدُك عن الله، لكـنَّ كثيرَه يقرِّبُك إليه ». وتجدر الإشـــارة (فـــي هـــذا الصـــدد) إلـــى أنَّ الـــلاهـــوتـــي الإيـطـــالي الـــذائع الصيت « تـومـاس الأكـــويـنـــي » Thomas d'Aquin(1225 ـ 1274) قد ذكر قبل «باستور» بأكثر من ست مئة عام ما يلي (المرجع 1, الصفحة 68) :

" Chercher à comprendre les lois de la Nature c'est chercher à comprenderel'œuvre de Dieu , c'est donc se rapprocher de lui.

أي: « إنَّ السعي لفهم قوانين **الطبيعة** هو سعي لفهم أعمال الله، ومن ثم الاقتراب منه ». ونحن نقول: « إنَّ قوانين **الطبيعة هي إرادة الله** ».

ومع أن العلم يلاحظ ويجرب ويرى أنَّ الواقع أكثر تعقيداً مما يبدو، إلا أنَّه لا يمكن أن يشكل عقيدةً تُعتنق. كما أن علينا ألاَّ نقحم فرضيات العلم في مبادئ الإيمان الفلسفي. وبالتأكيد، فإن لكل منهما سيادته على الفكر البشري. فالمعرفة العلمية تُعَلِّم وتثقف، والإيمان الفلسفي يلقّن ويرشد. وفي حين أنَّ العلم ينبع من الارتياب، فإن الإيمان يصهر المعتقدات الدينية. وعلى الإنسان أن يكتشف العرى الوشيجة التي تجمعهما وتوفق بينهما. **إنَّ المعرفة العلمية لا تتعارض والإيمان الفلسفي**، « **لأن الأولى تتعامل مع الواقع العملي، في حين أن الثاني يهتم بأخلاق البشر** ».

ولا بد من تأكيد أنَّ فكرة الإيمان الفلسفي بقدرة إلهية لا تعني (في ما يتعلق بمعظم العلميين) إلهاً شخصياً، بل إلهاً خلق الزمن والمكان، ووضع قوانين الطبيعة (المتمثلة بالقوى الطبيعية الأربع، وما نجم عنها من قوانين فيزيائية) موضع العمل. ولقد حدث ذلك لحظة ولادة الكون، أو حدوث الانفجار الأعظم، حيث كانت الطاقة (وبالتالي الكثافة، ودرجة الحرارة) خارج القوى الأربع للطبيعة، وحيث كانت القوانين الفيزيائية معطلة كلياً (أو موحدة في قوة واحدة متفردة لا وظيفية)، وحيـث الفوضى تعم كل شيء. وقلة نـادرة من العلماء تعتقد بوجود إلـه يتابع الأمور اليومية لأفـراد بني البشـر.

وبطبيعـة الحـال فلقد ناقـش بعض اللاهوتيين موضـــوع الزمـن بإسـهاب. ونذكر أنَّ القـــديـس « أوغسطين » Saint Augustine (354 ـ 430) الذي ناقش بعمق بدء الزمن في كتابه « الاعترافات »[3]، يرى أنَّه من الخطأ السؤال عما إذا كان الزمن موجوداً قبل أن يخلق الله العالم، لأنَّ الله خارج الزمن، وعندما خلق الله العالم خلق الزمن. وفي هذا السياق درج بعض المؤلفين على الإشارة (دعابةً) إلى أنَّه عندما كان يسأل فضولي عما كان يفعله الله قبل خلقه للعالم، فكان الفضولي يتلقى الإجابة التالية : كان يهيئ جهنم لمن يطرح هذا السؤال.

وقديماً أيضاً، اعتقد « باروخ سبينوزا » Baruch Spinoza (1637 ـ 1677) «بإله يتجلى في تناسق موجودات هذا الكون، لا بإله يهتم بأفعال ومصائر البشر». **إنَّ الله موجود في سرائر الناس وضمائرهم، تريحهم فكرة وجوده، وتساعدهم على مجابهة الموت، والإنسان هو خليفة الله في الأرض.**

← فتقلُّ الطاقة الحرة (المفيدة) لهـــذه الجملة. إنَّ إنقاص الأنتروبية(زيادة الطاقة الحرة) تقتضي صرف كمية معينة من الطاقة. إنَّ تشكل الخلايا الحية الأولى وانتظام موادها (بدءاً من جزيئات مبعثرة في الوسط) مثال واضح على السير على نحو ما (وبتحفظ فيزيائي واضح يتعلق في أن أنتروبية الجملة ترتبط مباشرة بدرجة حرارة هذه الجملة) بعكس هذا المبدأ من حيث النزوع إلى الانتظام. كما أن تكون المادة جانبَ الأنتروبية (من حيث الانتظام فقط) (انظر، من أجل معالجة مقتضبة لموضوع الأنتروبية، الفقرة 3، 1، 1. من الفصل الثالث).

3. St Augustin " **Le Confessions** " ، traduction nouvelle avec une introduction et des notes de Josephe Trobucco, Tome I et II , Classiques Garnier Edition 1950 , Gaston Maillet et Co., St. Quen.

ولقد عالج عدد كبير نسبياً من علماء القرن العشرين فكرة وجود قدرة إلهية، خلقت الزمن والمكان، لحظة ولادة الكون أو حدوث الانفجار الأعظم. ونذكر من بين هؤلاء العلماء (على سبيل المثال) : « ألبرت آينشتاين »، « وستيفن واينبرغ »، « ومحمد عبد السلام »، و« كارل ساغان »، وآخرين غيرهم.

فـ«ألبرت آينشتاين» Albert Einstein (1879 ـ 1955)، الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921, صاحب نظريتي النسبية الخاصة، والنسبية العامة، وواضع أشهر معادلة في الفيزياء ($E=mc^2$) أي أَنَّ الطاقة E تساوي مقدار الكتلة m بجداء مربع سرعة الضوء c ، وهذا ما يحدث عند انفجار القنبلة الذرية)، يؤكد قائلاً : «إنَّ ما يهمني فعلاً أن أعلم ما إذا كان لله أيُّ خيار في خلق هذا العالم ». وقد يكون من المفيد (ونحن بصدد قول آينشتاين الآنف الذكر) أن نعرض إلى مفهوم طوره بعض الباحثين (ويأتي في مقدمتهم الفيزيائي الفلكي الإنكليزي «براندون كارتر» Brandon Carter عام (1974)، وأصبح يعرف **بالمبدأ البشري** **Anthropic Principle**، **Principe Anthropique**. ويمكن تلخيص هذا المبدأ بالقول إنَّنا نرى الكون على ما هو عليه لأنَّه لو كان غير ذلك لما كنا فيه لنرصده. وبمعنى آخر، فإنَّ الثوابت الطبيعية (وعددها كبير جداً، كالقوى الطبيعية الأربع، وشدة كل منها، وسرعة الضوء، وشحنة الإلكترون وكتلته، وكتلة البروتون، والنترون ... وغيرها كثير جداً)، قد تمت مواءمتها على نحو أمثل، انتهى بظهور حياة ذكية (الإنسان) على سطح الأرض. ويمكننا في الواقع أن نلمح سمات هذه الحتمية (أو ما أسميناه بالتطور الموجه ذي المعنى) بأرقام ثوابت الطبيعة، التي تشكل هياكل القوانين العلمية، التي نجدها في هذا الكون كما هي، ولا نكتشفها رياضياً أو فيزيائياً. ونذكر (كمثال على ذلك) شحنة الإلكترون، ونسبة كتلة الإلكترون إلى البروتون. إنَّ من المذهل حقاً (كبرهان على صحة هذا التطور الموجه) أن تأتي مجموعات هذه القيم على نحو يتلاءم بعضها مع بعض بدقة جعلت من الممكن ـ كما أسلفنا ـ ظهور الحياة على الأرض. فلو كانت شحنة الإلكترون هذه أقل مما هي عليه بمقدار غاية في الضآلة، فإنَّ النجوم لن تحرق الهدرجين والهليوم، ولن يُنتج الاندماجُ النوويُّ للهليوم الكربونَ والأكسجينَ الأساسيين (مع الهدرجين) لبنية الكائنات الحية (إضافة إلى تشكيل الماء ـ كنقطة بدء ـ من الهدرجين والأكسجين). أو أنَّ هذه النجوم لن تنفجر على شكل مستعرات فائقة، ليشكل حطامها نجوماً وكواكب أخرى، بما في ذلك إنَّ أمّنا الأرض. ويرى عدد كبير من الباحثين في قيم ثوابت الطبيعة (المذهلة في تلاؤم بعضها مع بعض) برهاناً قاطعاً على وجود هدف واضح لهذا التطور يتم فيه اختيار قوانين العلم بحيث تدعم دعماً قوياً حتمية المبدأ البشري. ولكن يرى باحثون آخرون أَنَّه يمكن لمجموعات من الثوابت الأخرى (غير ثوابتنا الطبيعية) أن تنشأ أيضاً، متوائماً بعضها مع بعض (كثوابتنا تماماً)، وتؤدي في نهاية الأمر إلى ظهور أنماط أخرى من الحياة في مجرات غير مجرتنا، وربما في عوالم غير كوننا. ولكن على من يعتقد بذلك أن يبرهن علمياً على صحة اعتقاده، ويبين على الأقل وجود عناصر أخرى (غير عناصر أمّنا الطبيعة)، تستطيع أن تُنشئ أنماطاً أخرى من الحياة الذكية. إنَّ الأشكال الثلاثة للتطور (الفيزيائي الفلكي، والفيزيائي الكيميائي، والبيولوجي) تغدو بلا معنى إذا لم يتوجها ظهور الحياة الذكية (أي الإنسان). كما أَنَّ «ستيفن واينبرغ» Steven Weinberg [4] (الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1979, بالتشارك مع الباكستاني «محمد عبد السلام » و«شلدون

(4). لإطلاع على عرض مسهب لموقف عدد من العلميين من مفهوم الخلق، يمكن الرجوع إلى المرجعين 1 و2 وإلى كتاب :

4- Weinberg , S . "**Dream of Final Theory**" Vintage Book , New York (1992).

الذي نقله إلى العربية « الدكتور أدهم السمان » بالعنوان « **أحلام الفيزيائيين بالعثور على نظرية نهائية**، جامعة شاملة »، ونشرته دار « طلاس» ←

غلاشو «Sheldon Glashow» لدمجهم القوة النووية الضعيفة ـ كانطلاق جسيمات بيتا ـ مع القوة الكهرطيسية)، يرى أنَّ رجال العلم والمفكرين يستعملون كلمة «الله» لتعني شيئاً مجرداً وغير معنيٍّ بشيء، لدرجة أنه يصعب التمييز بينه وبين قوانين الطبيعة.

وتجدر الإشارة (كمثال على تفاوت فئات العلميين كمختصين) إلى مقالة افتتاحية، نُشرت عام 1997 في مجلة La Recherche [5]، عُرض فيها موقف عدد من العلماء (غالبهم أمريكيون) من الدين. فلقد تبين (من دراسة إحصائية، قام بها «جيمس لوبا» James Lauba عام 1916, واستبان فيها رأي ألف من العلماء الأمريكيين) أن أكثر بقليل من 40 في المئة يعتقدون وجود قدرة إلهية، تراقب وترعى أمور الناس، وأنَّ 50 في المئة يؤمنون بفكرة الخلود. وكان للبيولوجيين في هذه الدراسة الحظ الأوفر في نكران الإيمان الفلسفي، فبلغت نسبة غير المؤمنين بوجود قدرة إلهية والمشكِّكين بها 70 في المئة.

وفي عام 1969 أجريت دراسة إحصائية أكثر شمولاً، فتناولت 60 000 أستاذ من أساتذة الجامعات الأمريكية. لقد بينت هذه الدراسة أَنَّ 43 في المئة من الفيزيائيين والبيولوجيين يذهبون مرتين أو ثلاث مرات شهرياً إلى دور العبادة. ولقد أعاد مؤخراً باحثان أمريكيان الدراسة الإحصائية التي أجراها عام 1916 «جيمس لوبا» (واستعملا منهجاً استبيانياً مطابقاً تقريباً لمنهجه)، فتوصلا إلى نتيجة قريبة جداً من نتيجة «لوبا»: إنَّ 40 في المئة يعتقدون وجود الله، ومثل هذه النسبة فكرة الخلود. ولكن لوحظ فرق أساسي بين الدراستين، تمثَّل في أَنَّ نسبة غير المؤمنين بوجود قدرة إلهية، أو المرتابين بها، كانت هذه المرة بين الفيزيائيين والفلكيين (70 في المئة)، وليس بين البيولوجيين، كما كانت في دراسة «لوبا». وتبين من هذه الدراسة أيضاً أَنَّ الجمهرات العلمية الأكثر تديناً توجد حالياً بين الرياضيين (45 في المئة). وقبل أن نتابع النظر في المقالة الافتتاحية لمجلة La Recherche, [5]، لا بد من الإشارة إلى التناقض في الموقف الفردي الظرفي لبعض العلماء من فكرة الإيمان الفلسفي بوجود قدرة إلهية. ونذكر (كمثال على ذلك) موقف أستاذ كرسي الرياضيات في جامعة كمبردج «ستيفن هوكنغ» Stephen Hawking. فلقد نقل «واينبرغ» (المرجع 4, الترجمة العربية، الصفحة 189) عن «هوكنغ» وصفه قوانين الطبيعة بأنَّها «رغبة الله». ولكن «هوكِنغ» نفسه، يروي في كتابه «موجز تاريخ الزمن» [(6)] الحادثة التالية (الصفحتان 121, 122 من الترجمة العربية، والصفحتان 127, و 128 من الأصل الإنكليزي) [(6)]:

[كان اهتمامي في أعوام السبعينات منصباً على دراسة الثقوب السود خصوصاً. لكن فضولي استيقظ عام 1981 على أصل العالم ومصيره، حين دُعيت إلى مؤتمر عقده الآباء اليسوعيون في الفاتيكان حول علم الكون. وكانت الكنيسة الكاثوليكية قد اقترفت ذنباً كبيراً في حق «غاليليو» حين حاولت إصدار تشريعات في الحقل العلمي، مدعية أَنَّ الشمس تدور حول الأرض. وهكذا قررتْ إذاً، بعد قرنين من الزمن (خطأ في الترجمة، وورد في الأصل

←للدراسات والترجمة والنشر، دمشق، 1997 الصفحات 189 ـ 203 خاصة.

5. Editorial, La Recherche, **304,** 5 (1997).

وتجدر الإشارة هنا إلى أنَّ كاتب هذه المقالة الافتتاحية، يأخذ على الباحثين الفرنسيين عدم إجراء دراسات إحصائية من هذا النمط. بيد أن هذه المجلة نفسها خصصت صفحات كثيرة لنشر آراء عدد كبير من هؤلاء الباحثين (يُرجع إلى المرجع 2) للوقوف بالعربية على مزيد من التفصيل، انظر الكتاب الذي أشرنا إليه سابقاً لـ« ستيفن هوكنغ»: «موجز تاريخ الزمن، من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء» الذي نقله إلى العربية الدكتور «أدهم السمان»، ونشرته دار «طلاس» للدراسات والترجمة والنشر، دمشق 1993, كما أن الكتاب مترجم إلى الفرنسية وإلى لغات أخرى عديدة.

الإنكليزي: « بعد قرون من الزمن »)، أن تدعو عدداً من الخبراء، للتناقش في علم الكون. وفي ختام المؤتمر حظي المشاركون بمقابلة مع البابا الذي كان يرى خيراً في دراسة تطور العالم بعد الانفجار الأعظم. أما ما حدث في أثنائه فليس من شأننا الخوض فيه لأنه لحظة خلق العالم، وخلق العالم من شؤون الله وحده. وقد سُررت آنذاك من أنه لم يكن قد علم موضوع محاضرتي في جملة أعمال المؤتمر - أي إمكانية أن يكون الزمن - المكان محدوداً دون أن يكون، مع ذلك، ذا حدود؛ أي إنه غير ذي بدء، ليس فيه لحظة خلق. كنت أخشى أن ألقى مصير « غاليليو » الذي كنت أشعر بتقمصي شخصيته شعوراً قوياً يعود بعض سببه إلى المصادفة التي قضت أن أولد بعد وفاته بثلاث مئة عام بالضبط !].

وتجدر الإشارة هنا إلى أَنَّ من يقرأ هذا الكتاب، يصل إلى استنتاج لا لبس فيه أن مؤلفه راسخ الإيمان بالله. وعلاوة على ذلك، فإنَّ «كارل ساغان» Carl Sagan (الذي قدم للكتاب) يقول في نهاية مقدمته عن الكتاب: [إنَّ كلمة الله حاضرة في كل صفحاته. ويتطلع « هوكِنغ » إلى الإجابة عن السؤال المشهور الذي كان يطرحه « آينشتاين »: هل كان لله خيار حين خلق العالم؟ إنَّه يحاول، ويقولها بصراحة، أن يفهم ما اعتزمه فكر الله].

وحيث أن معارف الفكر البشري تتوقف حالياً عند الانفجار الأعظم [لأن القوى الطبيعية، وما يتأتى عنها من قوانين تصبح (بسبب الطاقة الهائلة والارتفاع الخارق في درجة الحرارة والعشوائية المطلقة) معطلة أو موحدة في قوة واحدة متفردة لا وظيفية، وحيث تولدت في إثر الانفجار الأبعاد الأربعة، أي المكان والزمن]، فإنه من المفيد الاطلاع على مزيد من آراء علماء النصف الثاني من هذا القرن، نسردها كأمثلة يعترف فيها أصحابها (لأسباب مختلفة، قد تكون من بينها استحالة إجراء قياسات تجريبية في ظروف مماثلة للحظة حدوث الانفجار الأعظم[6])، بوجود قدرة إلهية، خلقت كتلة « الطاقة »، التي حدث فيها هذا الانفجار.

فالباحث السير «جون هوغتن» Sir John Houghton (الذي يرأس مجموعة الباحثين التي تدرس التغيرات المناخية في كوكبنا الأرض) هو شديد الإيمان، بحيث يكتب مقالات عن فضائل الصلاة، ونشر (في عام 1994) كتاباً عن طبقة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (التي تعرف بظاهرة «الاحتباس الحراري» أو «الدفيئة») لدى ناشر معروف بتدينه. ويرى الفيزيائي الفلكي «جورج سموت» George Smoot من مختبر لورنس الوطني - الذي يدرس الجُسيمات العنصرية - بجامعة بركلي بكاليفورنيا) أَنَّ خلفية الأشعة الكونية، أو الأشعة الكونية الثمالية (أي ما يصل الأرض من بقايا أشعة نشأت عند حدوث الانفجار الأعظم، وفي بدء بداية تكون الكون، وتمثل أحد الأدلة على صحة نظرية الانفجار الأعظم)، يرى أَنَّ خلفية هذه الأشعة هي « توقيع الله ».

كما أن «تشارلز تاونس» Charles Townes (أحد مكتشفي أشعة الليزر) يخصص يومياً وقتاً كافياً للصلاة، ويرى « أَنَّ العلم يبحث عن آلية الكون، في حين أَنَّ الدين يسعى لتعرف معنى هذه الآلية، وليس بوسع معارفنا أن تفصل بينهما ».

ويعرف عن البيولوجي الجزيئي «فرانسيس كولنز» Francis Collins (أحد مكتشفي جين اللُزاج المخاطي mucoviscidosis، mucoviscidose الممرض، ومدير مشروع الجينوم البشري الذي تم في الولايات المتحدة)

6. Hawking, S.,"A Brief History of Time.From The Big Bang to Black Holes"، Bantam Books, London (1997).

6. «ستيفن هوكِنغ»، «موجز تاريخ الزمن»، الصفحة 84 في الترجمة العربية و 82 في الأصل الإنكليزي. إنَّ إجراء قياسات تجريبية للجُسيمات العنصرية في طاقة (تقل كثيراً عن طاقة الانفجار الأعظم) تبلغ فيها هذه الجسيمات طاقة توحيد القوى الطبيعية الأربع (التي سنفصلها في الفصل الثاني من هذا الكتاب، وهي: قوة الثقالة، والقوة النووية الشديدة، والقوة النووية الضعيفة، والقوة الكهرطيسية)، إن إجراء هذه القياسات يقتضي بناء مسرع لهذه الجُسيمات يبلغ حجمه حجم المنظومة الشمسية.

بأنّه لا يجد تعارضاً بين التطور والدين. ويتساءل تساؤل المؤمن : « أليس بوسع الله أن يستعمل آلية التطور في عملية الخلق ؟ ». أمَّا الفيزيائي «ديفيد سكوت» David Scott (رئيس جامعة ماساتشوستس في أمهرست)، فيرى « أَنَّ العلم والدين هما منارتا الفكر البشري اللتان تريان في البحث عن الحقيقة جوهر الاستقصاء عن حقيقة الإنسان ». وكما يقول البيولوجي الأمريكي «جوشو ا ليدربيرغ » Joshua Lederberg (الحائز على جائزة نوبل عام 1958)، « لا شيء يلغي القدرة الإلهية، ومن المؤكد أَنَّ الاستقصاء العلمي يقف عاجزاً أمام قوة الدين ». أمَّا في ما يتعلق بالفيزيائي البريطاني «جون بولكينكهام» John Polkinghome (رئيس كلية كوين كولج بجامعة كمبردج، والذي رُسِمَ كاهناً آنكليكانياً، فيلاحظ « أَنَّ الله يتصرف وفقاً لطرائق عصية على الفيزياء ». وأخيراً، يلاحظ البيولوجي البلجيكي «كريستيان دو دوف» Christian de Duve (الحائز على جائزة نوبل عام 1974)، « أَنَّ عدداً من أصدقائي العلميين ملحدون إلحاداً شديداً، بيد أَنَّ هذا الإلحاد لا يستند إلى العلم وغير مبني عليه ». ونعتقد أن هذا شأن عدد كبير من العلميين اللادينيين.

وعلينا، قبل أن ننهي هذه الفقرة، أن نشير إلى **مبدأ الارتياب**[2] **Principe d'Incertitude, Uncertainity Principle**، الذي وضع عام 1926 من قبل الألماني «فيرنر هايزنبرغ» Werner Heisenberg (الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1932). إنَّ هذا المبدأ يقيم علاقة رياضية بين موقع الجُسيم الفيزيائي العنصري، وبين اندفاعه. فوفقاً لهذا المبدأ لا يمكن تحديد موقع جُسيم فيزيائي عنصري كالإلكترون أو البوزيترون أو البروتون أو النترون . . .)، واندفاعه (جداء كتلته في سرعته) في لحظة معينة تحديداً دقيقاً. وهذا ما يشبه الصورة الواحدة التي تُلتقط لرياضي يركض بسرعة. فكلما ركزنا على موقع الرياضي، كلما انطمست معالم اندفاعه، والعكس بالعكس.

لقد تعرضنا لمبدأ الارتياب لأنه ينطوي على العشوائية. حتى إن « هايزنبرغ » اعتقد أن النترون يتناوب باستمرار (داخل النواة) مع البروتون على شحنة هذا الأخير. وبدهي أن يثير هذا المبدأ جدلاً واسعاً بين الباحثين، حتى إن « آينشتاين » كان ممتعضاً من وجود هذا العنصر العشوائي في الأحداث الكمومية (العلاقات بين الجُسيمات العنصرية) التي تحكمها أصلاً الاحتمالية، وحاول باستمرار الاعتراض على مبدأ الارتياب الذي كان أساساً وراء عبارته الشهيرة التي ظل

(2) ينص مبدأ الارتياب في فيزياء الجُسيمات العنصرية (أو ميكانيك الكم) على أنه يستحيل أن نخصص لجُسيم عنصري (وفي لحظة معينة) موقعاً وكماً حركياً محددين تماماً. أي إنّه من المستحيل معرفة موقع الجُسيم واندفاعه (جداء كتلة الجُسيم في سرعته) معرفة دقيقة في لحظة واحدة. والأمر الأكثر تعقيداً أنَّنا كلما توخينا دقة أكبر في تعيين موقع الجُسيم الأولي، كلما اضطررنا إلى استعمال أمواج أقصر من الأشعة (بغية تحديد الموقع نتيجة تناثر الأشعة عنه)، وكلما اضطررنا إلى استعمال تواترات أكبر، ومن ثم طاقات أعظم، الأمر الذي يزيد من رداءة الدقة في قياس سرعة الجُسيم. وخلاصة القول، إنَّنا كلما حاولنا الحصول على دقة أفضل في ما يتعلق بتعيين موقع الجُسيم، ازدادت رداءة الدقة في قياس السرعة، والعكس صحيح بطبيعة الحال. ولقد برهن «هايزنبرغ » على أن جداء ثلاثة معالم للجُسيم(هي : الارتياب، وموقع الجُسيم، واندفاعه (أو جداء كتلة الجُسيم في سرعته) لا يمكن أن تقل عن كمية معينة، هي ثابت «بلانك »، **Planck Constant**، **Constant de Planck(h)** الذي يساوي 6.62×10^{-27} إرغ ثا. وهذا الحد الأدنى مستقل عن الطريقة، التي نتبعها في قياس موقع الجُسيم أو اندفاعه (تماماً كما هي الحال في قياس سرعة الضوء وفقاً لنسبية « آينشتاين»). وليس للجُسيم في ميكانيك الكم (وفقاً لمبدأ الارتياب) اندفاع محدد يمكن قياسه أو حسابه بدقة، أو موقع محدد تماماً يمكن رصده بثقة. بل أَنَّ للجُسيم كموماً هو حصيلة اندفاعه، وموقعه. ويرجع الفضل إلى كل من « بلانك »، و« هايزنبرغ »، « وديراك »، و«إيروين شرودينغر» Erwin Schrdinger 1887ـ1961 الذي نال جائزة نوبل عام (1933)، ولوي دو بروغلي Louis de Broglie 1892 الذي نال جائزة نوبل عام (1929)، وماكس بورن Max Born -1970 1882 الذي نال جائزة نوبل عام (1954)، وفيزيائيين آخرين في تحويل النظرية الكمومية لـ «بلانك»، والميكانيك الموجي لـ «شرودينغر»، والتوزعات الاحتمالية لـ «بورن»، إلى فيزياء تعالج سلوك الجُسيمات العنصرية (دون الذرية)، فيزياء عُرِفت بميكانيك الكم، أساسه كموم « بلانك » ومبدأ ارتياب «هايزنبرغ» ومبدأ استبعاد «باولي» (انظر الحاشية 1 .2 بشأن «ديراك»، والحاشية 1 .12 بشأن «بلانك» والحاشية 2 .2 بشأن «باولي».

يرددها لفترة طويلة : « إنَّ الله لا يلعب بالنرد ». ولقد اتضح أن مبدأ الارتيــاب (كما وضعه « هايزنبرغ ») وأنَّ مبدأ الاســتبعاد كمــا وضعه « باولي » (انظر الحاشية 2، 2) مسؤولان عن بنية المادة كما نعرفها. فبسبب هذين المبدأين، لا تـرتص الإلـكـتـرونـات (فـي ذرات الـعـنـاصـر) بفعل قوة الثقالة على النواة، كما لا ترتص البروتونات والنترونات (ومكوناتهما الكواركات) بعضها على بعض. وهذا هو السبب أيضاً في عدم ارتصاص مواد النجوم والكواكب، لتتحول (كما سنرى) إلى أقزام بيض أو نجوم نترونية. كما أن مبدأي الارتياب والاستبعاد يوازنان قوة الثقالة، فلا يعاني الكون ارتصاصاً أعظم من جهة، و لا تنفلت مادته، فتضيع كلياً في خلاءٍ غير مرئي، من جهة أخرى. إنَّ هذين المبدأين يشكلان إذاً خاصة أساسية من خصائص الطبيعة، فهما بالتالي سمة جوهرية من سمات فيزياء الجُسيمات العنصرية (ميكانيك الكم)، أو المادة التي تشكلت في إثر حدوث الانفجار الأعظم. ولذا، فإنَّ هذين المبدأين أديا بالتأكيد دوراً أساسياً في تشكل نوى الذرات، والذرات نفسها، وكذلك نوى العنصرين الأوليين : الهدرجين ومن ثم الهليوم. **إنَّ هذين المبدأين يقعان إذاً ضمن السياق السوي لتطور موجه ذي معنى.**

بناء على ما تقدم، يمكن القول إن هنالك تطوراً ذا معنى وذا هدف، يسوده المنطق و لا يخضع للتصادفية. إنَّه تطور غائي، يتجه نحو هدف محدد. وبطبيعة الحال، فإنَّ هذا التطور الغائي يرتبط بالزمن والمكان. ولقد أمكن، بفضل المعارف العلمية (التي تراكمت خلال الثلث الأخير من القرن الماضي) رسم صورة واضحة تقريباً لولادة الكون، وللحظات تشكله الأولى، ولبنيته البدئية. وتمتد ملامح هذه الصورة إلى ما قبل ثلاثة عشر مليار سنة. وبالمقابل، فإنَّ هذه المعارف تقر على نحو واضح بأنَّ تخومها الحالية تنتهي عند حدوث الانفجار الأعظم، حيث تتعطل قوى الطبيعة الأربع، متوحدة في كينونة واحدة لا وظيفية، وحيث تصبح لحظة حدوث هذا الانفجار هي الصفر في تاريخ عمر الكون. فيوم ميلاد الكون ليس له أمس. لقد بدأت (في أجزاء الثانية الأولى من ذلك اليوم) القوى الطبيعية الأربع بانفصال بـعضـهـا عـن بـعض، كـمـا بـدأت عـنـاصر نوى الذرات الأولى بالتكون (وفقاً لمنطق ولمعنى محددين). وكما سنرى، فالبروتونات والنترونات (التي تشكلت قبل انقضاء جزء واحد من عشرة آلاف جزء من الثانية الأولى) اتحدت، إثر مرور مئة ثانية على حدوث الانفجار، لتشكل نوى أوّل عنصرين في الكون : الهدرجين، والهليوم. وكان يجب أن تنقضي مدة ثلاث مئة ألف سنة، حتى يصبح الكون شفيفاً ويغمره الضوء. أمَّا المجرات، فلم تظهر بشكلها المألوف إلاَّ بعد انقضاء مليار سنة على حدوث الانفجار الأعظم. وكما عرضنا غير مرة، فإن هذه التغيرات كلها، تمت (بعكس الأنتروبية من حيث النزوع إلى الانتظام) من الأبسط إلى الأعقد ومن الأقل إلى الأكثر أداءً وتخصصاً، لتعطي الذرات والعناصر والجزيئات اللاعضوية والعضوية، ومن ثم الجزيئات البيولوجية التي وسمت بظهورها نشوء الحياة على الأرض. فالتطور الموجه لا يشمل الكائنات الحية فقط، إنما يسود أيضاً في العالمين اللاعضوي والعضوي.

ومع أن الانفجار الأعظم أحدث بقوته قفزة هائلة، فإن الكون ظل هو نفسه (بمجراته وبكواكب هذه المجرات) دونما تغيير، ما عدا تباعد هذه المجرات بعضها عن بعض، وتبرد درجة حرارة الكون حتى الدرجة 2.728 كلفِن تقريباً فوق الصفر المطلق[3]، حيث تتوقف ذرات المادة عن الحركة. لقد ظل الكون في وضع لا ينكفئ فيه على نفسه (فيحدث انسحاق أعظم، يعاكس تماماً الانفجار الأعظم)، ولا ينفتح فيه، فتهرب عنا مجراته وكواكب هذه المجرات. لقد بقي

(3) الصفر المطلق zero absolu, absolute zero من اللاتينية الوسطى zephirium ، من العربية sifr ، الصفر، هو صفر«كلفِن» Kelvin (ويليام تومسون كلفِنَ William Thomson Kelven، «لورد كلفِن »، (1824 ـ 1907, فيزيائي بريطاني). يُستعمل سلم كلفِن كسلَم للحرارة ←

هو نفسه (وكما نعهده وفقاً للمقاييس الذرية والكونية كلها، ومنذ ثلاثة عشر مليار سنة) في وضع متوازن تقريباً بين انكفاء (انسحاق)، وانفتاح (تلاش) يعرف بالوضع الحرج[4] . وكما كنا عرضنا منذ قليل، فإنَّ هذا الوضع الحرج إنَّما يتأتى من توازن فعل قوة الثقالة مع الطاقة الحركية للمادة في أثناء توسع الفضاء، ومع ما ينجم عن فعلي مبدأ الارتياب لـ «هايزنبرغ» (يُرجع إلى الحاشية 2)، ومبدأ الاستبعاد لـ«باولي» (انظر الحاشية2،2). ويعني هذا الوضع التوازني(كموازنة هرم ضخم في وضع مقلوب، أي يقف على رأسه) أنَّ نسبة طاقة التثاقل (التي تسبب الارتصاص أو الانسحاق) إلى الطاقة الحركية للمادة (التي تسبب توسع الكون أو انفلاته)، وتعرف هذه النسبة بأوميغا، يجب أن تكون مساوية لواحد بتقريب قدره على الأقل جزء من مليار مليار جزء [7] .

ولكن عندما فكرت (منذ بضع سنوات) بكتابة هذا الموجز لتاريخ الكون، كان ثمة هاجس ينتابني وأنا أرى ما فعله الإنسان بهذه الطبيعة الجميلة (وقد تكون أكثر جمالاً مما ينبغي)، فكاد أن يدمر ما أنجزته طوال قرابة أربعة مليارات سنة (بدء ظهور الحياة على كوكب الأرض)، أي ما ألحقه الإنسان بالبيئة من أذى، وكيف أخفق في إحداث تناسق وانسجام بين هذا الكوكب والتقانة، وبين البيئة والاقتصاد. وكيف عجز عن الإفادة من الأمثولة التي قدمتها له الطبيعة بسيرها من الأبسط بنية إلى الأعقد تركيباً، ومن الأقل كفاية إلى الأشد تأثيراً، دون أن يُخل بالعلاقة القائمة بينه وبين بيئته. لقد أخلَّ حتى في العلاقة التي تقوم بين الطفيلي وعائله (ثويه)[5] . إن الإنسان يتطفل على الطبيعة منذ نشوئه، وتخضع علاقته بها لتوازن محدد، صحيح تغاير قليلاً مع الزمن من حيث المظهر، لكنه ظل ضمن حدود الأذى الأقل فداحة. إنَّ ما حدث خلال النصف الثاني من هذا القرن عكس هذا التوازن ضد الطبيعة مباشرة، وتحول التطفل من

←بفواصل تساوي الواحدة منها وحدة أساسية من النظام العالمي للوحدات Système International d''Unitè) SI) ، وتشير هذه الوحدة إلى الحرارة الترمودينامية (الكلفن). وتساوي فواصل سلم كلفن فواصل سلم سلسيوس Celsius المئوي (نسبة إلى الفلكي والفيزيائي السويدي «أندرز سلسيوس» Anders Celsius، 1701ـ1744). فدرجة صفر كلفن تعادل ناقص 15، 273 درجة سلسيوس، حيث تتوقف الذرات عن الحركة، وحيث لا تمتلك الجملة أي طاقة حرارية. وتقابل هذه النقطة درجة حرارة « بلانك »، وتساوي 10^{32} درجة، حيث تتحول الجملة إلى طاقة، وتتعطل قوانين الفيزياء(الجملة التي حدث فيها الانفجار الأعظم). فهناك إذاً جداران حراريان يستحيل فيزيائياً تخطيهما : صفر «كلفن» (الصفر المطلق)، وحرارة «بلانك».

(4) الوضع الحرج للكون : هو الوضع، الذي تعاكس فيه قوة الثقالة (وبدقة مذهلة) قوة التحرر منها (أي فعل مبدأي الارتياب والاستبعاد)، فلا تنكفىء المجرات والكواكب بعض على بعض، ولا تهرب عنا فتتلاشى. لقد أحدثت قوة الانفجار الأعظم قفزة كمومية (على مستوى الذرات وفقاً لقواعد ميكانيك الكم)ـ كونية (وفقاً لثقالة « نيوتن » ونسبية « آينشتاين »)، علقت الكون في هذا الوضع التوازني الحرج، حيث يصل مقدار الدقة رقماً مذهلاً، ومربكاً (جزء من مليار مليار جزء). ولتبسيط الأمر نذكر أن عناصر الكون تتدافع (بسبب قوة الانفجار الأعظم وبفعل مبدأي الارتياب والاستبعاد) نحو الخارج ضد قوة جاذبية كتلته الثقالية التي تجرها إلى الداخل. فلو مثلنا الكون بجسم ما، فلكي نحرره من ثقالة كتلته علينا أن نقذف به بقوة محددة. فإذا كانت القوة أقل من قوة الثقالة، فإن الجسم يعود، ويسقط. أما إذا كانت طاقة القذف أقوى من قوة الثقالة، فإن الجسم ينطلق في الفضاء. وإذا ما ضبطت طاقة القذف الحركية، بحيث تحقق حالة التوازن (الوضع الحرج)، فإن الجسم يُؤسر في مسار (وضع) محدد. ولكي تتحقق حالة التوازن هذه، فإنَّ على دقة الوضع الحرج (أو أوميغا) أن تكون من رتبة جزء من مليار مليار جزء (انظرـ من أجل تفصيل أوسع ـ الأشكال 1ـ1 إلى 1 ـ 4.

7. Fraser, G. et al.," **The Search for Infinity** " ، revised edition , George Philip Limited , London (1998)

لقد نقل الطبعة الأولى من هذا الكتاب إلى العربية الدكتور «مكي الحسني والدكتور أحمد حصري»، ونشر بعنوان : «**البحث عن اللانهاية**»، دار «طلاس للدراسات والترجمة والنشر»، دمشق 1997.

(5) أدَّى التطفل دوراً حاسماً في تحديد بيولوجية كل من الطفيلي وعائله، أي من حيث بنية ووظيفة كليهما. ففي حين أَنَّ الطفيلي يطور باستمرار بيولوجيته (بنيةً ووظيفةً)، ليزيد أكثر فأكثر من مردود عملية التطفل، فإنَّ العائل يحاول (بالمقابل) تطوير بيولوجيته كي يتملص من عبء التطفل عليه الذي يتزايد تعقيداً. فالمهارة في الاستغلال قابلها مهارة في التملص بأقل طاقة ممكنة. وقد تعد الفيروسات أشد الطفيليات←



حرصٍ على تطوير بنية العائل وإمكاناته لصالحه، إلى تخريبِ بنية العائل، وإنهاكٍ لطاقته وإمكاناته. وعلى ما يبدو، فتطفل إنسان النصف الثاني من هذا القرن لا يأخذ بالحسبان مصير عائله : الطبيعة.

وكثيراً ما أتساءل عما فعله الإنسان بنفسه بأن تسامح أخلاقياً (في ظروف بيئية ومعيشية يتفاقم سوءها باستمرار) مع الذكاء البشري كي يتخذ هذا المنحى المدمّر، ويصبح ذكاءً مشبوه الهدف، ويغدو وكأنه الهبة المسمومة للطبيعة. لقد عمل هذا الذكاء (يداً بيد مع الجشع المادي المرضي) على تدمير البيئة، ورَفْع درجة حرارة الأرض، واتساع المساحات المتصحرة، وتشقق طبقة الأُوزون، والتلاعب بجينات الكائنات الحية. وكان الجشع وراء عدم جدية بعض الدول في دعم المؤسسات الدولية (ذات الطابع الإنساني على وجه التخصيص)، ودفع دول العالم الثالث إلى التقاتل . . . لقد نجم عن نشاط هذا الذكاء اللاإنساني، وعن فاعلية هذا الجشع المرضي واللاأخلاقي، نشوء مجتمعات شمالٍ وجنوب، جنباً إلى جنب مع تناقضات ترتعد أمام هولها النفس البشرية خوفاً من مستقبل، يستقي من حاضر، تُدفع فيه عشرات ملايين الدولارات ثمن طائرة واحدة، تقتل بثوان مئات البشر، وتدمر مساكنهم؛ ويموت في اللحظة نفسها (وبالمقابل) آلاف الأطفال جوعاً ومرضاً.

وقد يكون من الصعب البحث في جميع الأسباب الحقيقية التي أدَّت إلى هذا الابتعاد عن القيم الإنسانية الأصيلة، والانخراط بهذا التخلف ذي المفاهيم الحضارية المظهر والهمجية الجوهر. ولكن قد يكون من المفيد الإشارة إلى بعض الأسباب الظنية الرئيسة التي تشكل جانباً واحداً من الجوانب المختلفة للمأساة. إن ظلم الإنسان للإنسان واستغلاله له (بغية نهب الثروات، وإذلال النفس البشرية) قد يأتيان (منذ أن نشأت الجمهرات البشرية المرتحلة، ومن ثم الزراعية) في مقدمة هذه الأسباب، سواء أخذ هذا الظلم وهذا الاستغلال صبغة فردية في استغلال إنسان لآخر أو جمهرة لأخرى (كما هي الحال في نظامي الرق، والعبودية)، أو أخذ شكل استعمار قديم يحتل أراضي الغير، أو استعمار حديث ينتهك فكر الآخرين وحضارتهم، أو شكل نظام فردي تعسفي. ويرتبط الجشع المادي المرضي بنمو الفردية في بعض المجتمعات نمواً مفرطاً، الأمر الذي استدعى تردي روح التعاون، وتراجع الشعور بالغيرية، وانكفاء القيم الإنسانية الأصيلة، وسيادة المفاهيم الهمجية، ذات الذكاء المفرط في تخلفه.

وبدهي أن تؤدي سهولة الحصول على المال من قبل فئة معينة من الأفراد دونما جهد بشري جسدي أو ذهني مكافئ إلى إفساد القيم الإنسانية الخيرة. ولقد أدَّى (في الثلث الأخير من القرن الماضي) دولار البترول petrodollar، ودولار المخدرات herodollar، (من هيروئين)، ودولار مبيعات الأسلحة وتهريبها، وحديثاً دولار مبيعات نتاج التلاعب بجينات الكائنات الحية، دوراً مؤثراً في هذا التدهور الهمجي. فهل سيكون أمر القيم الإنسانية الأصيلة في القرن الحادي والعشرين أفضل مما هو عليه حالياً؟ إنَّ على المؤسسات الإنسانية الدولية أن تبذل جهوداً استثنائية كي تجعل الأمور أقل قتامة. كما أنَّ على المجتمعات ذات الحضارات العريقة، الغنية بالقيم الإنسانية الخيرة، أن تنهض في

←مهارة. إن تطور أجهزة الكائنات الحية (الدفاعية، والمناعية منها على وجه التخصيص)، يُفسر على أساس هذه العلاقة. ولكن غالباً مايدفع الطفيلي عائله ليطور أنواعاً من البنية والسلوك تخدم مصلحة الطفيلي الذاتية للاستمرار في البقاء. فمثلاً، تتعمد الجرذان المصابة بالمقوسات الغندية *Toxoplasma gondii* (خلافاً للجرذان الصحيحة) الظهور أمام القطط كي تفترسها، فتصاب بالمقوسات، التي تستكمل دورة حياتها في هذه القطط، فتضمن بذلك توالدها وانتشارها، حيث أن الجرذان تشكل العائل المتوسط للمقوسات. فالطفيلي يحدث تغييراً في بنية دماغ الجُرَذ، بحيث يفقد غريزة الخوف من القط، وهنالك أمثلة كثيرة على مثل هذا التأثير للطفيلي في بنية العائل وسلوكه [انظر : Zimmer, C.,Scienee**289**,525-527 (2000)].



وجه هذا المد الهمجي، الذي يسعى (بما يحمله من مفاهيم) إلى تدمير كل ما هو حضاري وخير في النفس البشرية. وبذلك نصون الإنسان من التدرك، وكوكب الأرض من التدمير.

ولكن إذا أمعنا النظر في الأحداث التي وقعت في أواخر القرن الماضي، وبداية هذا القرن، يمكننا أن نستنتج - آخذين بالاعتبار التقدم العلمي، الذي شهدته الآلة العسكرية وما يسخر لها من مرافق أخرى، أن فقد الحضارة الانسانية أمر ممكن، وأن الرجوع إلى الهمجية أمر ممكن أيضاً.

بيد أن القوة المادية، والتقدم العلمي، والتفوق التقاني، لا قيمة لها إن لم تترافق مع ما يمكن أن نسميه «البنية العقلية» التي تقوم على أسس أخلاقية وفكرية وحضارية، وتنطوي على فهم عميق للتاريخ. وكما هي الحال دائماً، فعندما يبدو حدث أو فعل ما غير قابل للتفسير، لا بد عندئذ من الرجوع إلى التاريخ للبحث عن الأسباب.

أما في مايتعلق ببنية الكون، وللدلالة على ضآلة كوكبنا، أو حتى ضآلة الكون القابل للرصد الذي نعيش فيه (ويتألف من مئات مليارات المجرات، وتشتمل كل مجرة على مئات مليارات النجوم)، للدلالة على هذه الضآلة، ومن ثُمَّ ضآلة كوكبنا الأرض المتناهية الصغر، (التي تستوجب حتماً ضرورة الحفاظ عليها)، نشير إلى أن هذا الكون يؤلف خمسة في المئة فقط مما هو موجود من طاقة ومادة. وإن غالبية الوجود (أي 95 %)، يتألف من مادة سوداء باردة، ومن طاقة معتمة، وإن هذا الكون القابل للرصد (أي كوننا) في حالة توسع دائم. ويمكن القول أن المادة السوداء الباردة هي السبيل الوحيد للتوفيق بين الضوء الذي هو عديم الكتلة (الفوتونات)، وبين المادة نفسها كما نعرفها. وكما سنرى في مابعد، ووفقاً للطراز المعياري الساخن (المتمثل بالانفجار الأعظم)، فإن الولادة لا تشمل النجوم والكواكب فحسب، إنما المجرات أيضاً. فهناك مجرات وليدة، وأخرى يافعة، وثالثة بالغة. وكلما امتدت مشاهداتنا بعيداً في المكان، نظرنا أبعد في الزمن، ذلك أن الضوء - كما نعلم - سيحتاج إلى زمن أطول كي يصل إلينا. وعلينا أن نؤكد منذ الآن الثوابت الكونية الأساسية المتمثلة بالانفجار الأعظم، وما نجم عنه من مادة وطاقة كما نعرفهما، ومن مادة سوداء باردة وطاقة معتمة، لانعرف شيئاً عن كلتيهما. [للاطلاع على تفاصيل أوسع، يمكن الرجوع إلى الحوار الذي أجرته «إليزا برون» Elisa Brune مع الفيزيائي الفلكي المعروف «جيمس بيبلز» James peebles (أنظر الفقرة 1.2). لقد نُشر هذا الحوار في مجلة- La Recherche العدد **363**، الصفحات 67-70، نيسان (أبريل) (2003)].

القسم الأول

التطور الفيزيائي الفلكي

"Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien?"

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)

« لماذا يكون وجود شيء ما أفضل من وجود لا شيء ؟ »

« غوتفريد فيلهلم لايبنتز » **(1646–1716)**

القسم الأول
التطور الفيزيائي الفلكي

الفصل الأول

أصل الكون
الانفجار الأعظم

" Men at some time are masters of their fates
The fault, Dear Brutus, is not in our Stars,
But in "ourselves, that we are underlings..."

William Shakespeare (1564-1616), Julius Caesar I,I,I

« يكون الرجالُ أحياناً أسيادَ مصيرهم ،
إن العيبَ ، يا عزيزي بروتوس ، ليس في أبراجنا ،
إنّ العيبَ فينا نحن ، ذلك أننا دونيون »

«ويليام شكسبير» (1616-1564) ، مسرحية يوليوس قيصر 1. 1. 1

كما كنا عرضنا في المقدمة ، فإن من خصائص العلم الأساسية ملاحظة ما يحدث في الطبيعة ودراسة هذه الأحداث ، ومن ثم محاولة تفسيرها بإخضاعها للتجربة (إن أمكن) ، أو للبرهان الرياضي . وليست ولادة الكون ، وفقاً لفرضية الانفجار الأعظم ، سوى القصة (السيناريو) الأكثر قبولاً لتفسير أصل الكون . ومع أنني بيولوجي التكوين ، فإن ما شجعني على ركوب هذا المسلك الوعر هو شعوري بضرورة ربط التطور البيولوجي بالتطور الكيميائي ، ومن ثم بالتطور الفيزيائي الفلكي للكون ، اللذين استولدا الحياة وتطورها على كوكب الأرض . إن الدافع الأساسي إذاً هو محاولة استقراء تفسير أعمق للتطور البيولوجي . وكما كنا ذكرنا ، فما من تفسير إلاّ وبعده تفسير أكثر عمقاً . وكنت (وأنا أفكر بالقيام بهذا العملِ) أتذكر قول « أناتول فرانس» Anatole France 1844-1924 : «إنني أفضل أخطاء الحماسة على لا مبالاة الحكمة » . "je préfère les erreurs de l'enthousiasme à l'indifférence de la sagesse". لذا ، فإنني ألتمس العذر سلفاً من كل من يجد خطأً أو ضعفاً في معالجتي لهذا الموضوع . كما أنني أعود لأوكد التبسيط الذي سأعتمده كأسلوب في المعالجة.

1 . 1 . التعريف

إن ولادة الكون بالانفجار الأعظم نظرية وضعها الرياضيون والفيزيائيون الفلكيون كفرضية لتفسير نشوء الكون. وكان يُطلق على هذه الفرضية (حتى سنوات قليلة خلت) اسم الطراز المعياري standard model ، modèle de standard . وتُعَدُّ الآن هذه الفرضية نظرية راسخة في الأوساط العلمية. فوفقاً لمنطوق هذه النظرية، كانت هنالك في الماضي السحيق، وقبل أن يوجد الزمن والمكان (أي قبل ثلاثة عشر مليار سنة تقريباً) كتلة من طاقة (أو كموم quantum)، يبلغ قطرها أقل من جزء من مليون مليار مليار مليار من السنتي متر (أي أقل من 10^{-33} سنتي متر[1.1]). وكانت هذه الكتلة الكمومية تحوي تجمعاً من ركام كمومي cumulus quantus، ومن جُسيمات غريبة غير مألوفة exotic ، exotique، وجُسيمات غريبة أخرى مضادة[2.1]، تتكون وتتفانى، ولا تخضع إلا لمبدأ الارتياب (يرجع إلى الحاشية 2). كما أن هذه الكتلة الكمومية كانت هائلة الكثافة ومفرطة السخونة (تفوق درجة حرارتها درجة حرارة «بلانك»، يرجع إلى الحاشية 3)، والشوش.

وفي إثر حدوث الانفجار الأعظم في هذه الكتلة، أخذت تنفصل عنها فقاعات كمومية انتفاخية، تسربت إلى الخلاء المحيط الفائق التناظر (التجانس)، والمفرط التبرد. لقد أمسكت عندئذ قوة الانتفاخ بإحدى هذه الفقاعات، فتوسعت توسعاً هائلاً (تجاوز مليار مليار مرة)، وكانت سرعة التوسع تفوق سرعة الضوء (أي أكثر من 300 000 كيلومتر في الثانية). وعندما توقف الانتفاخ طرحت الكرة الانتفاخية المتوسعة (بذرة الكون البدئي) الطاقة الفائضة، فسخنت خلاء الكون المتشكل إلى درجة تقل عن مئة ألف مليار مليار كلفن أو درجة مطلقة (أي عن 10^{32} درجة مطلقة، أو درجة حرارة «بلانك»). إن طرح الطاقة الفائضة حدث أيضاً على شكل انفجار هائل، إنما أبطأ سرعة، وأقل شدة من الانفجار الأول الأعظم. لقد كانت قوى الطبيعة الأربع لحظة حدوث الانفجار الأعظم موحدة في قوة واحدة كبرى ذات بنية غشائية حويصلية وترية (إنما معطلة وظيفياً). وتمت ولادة هذه القوى بعدئذ تدريجياً.

إن حدوث الانفجار الأعظم أدى أيضاً إلى ولادة المكان والزمن. ولهذا، فإن هذه اللحظة هي اللحظة صفر من عمر كونٍ ليس له أمس.

ولا بد من التأكيد في هذا الصدد أن فرضية ولادة الكون بحدوث الانفجار الأعظم، والتي تحولت فيما بعد إلى نظرية (تثبت صحتها القياسات وقادرة على التنبؤ بملاحظات وظواهر مستجدة) قد انبثقت عن مجموعة من الأدلة (نظرية

(1 . 1) إن هذا القطر يقل عن طول «بلانك» (10^{-33} سنتي متراً) حيث يتحول الجُسيم عند هذه الأبعاد، وبسبب طاقته الهائلة، إلى ثقب أسود يبتلع الجُسيم. وإذا نحن وضعنا على يمين طول بلانك اثنين وستين صفراً، فإننا نحصل على نصف قطر الكون (أي 10^{24} كيلومتر أو ما يقارب ألف مليار سنة ضوئية. يبلغ طول السنة الضوئية قرابة 9،5 × 10^{12} كيلوا متر).

(2 . 1) لقد تم التنبؤ رياضياً عام 1928 من قبل « بول أدريان موريس ديراك » Paul Adrian Maurice Dirac (1902-1952) أستاذ كرسي الرياضيات بعد « نيوتن » في « كمبردج »، والحائز على جائزة نوبل عام 1933 (بناء على معادلة أنيقة جمع فيها لأول مرة بين النسبية الخاصة لـ «آينشتاين»، التي لم تفسح لا هي ولا النسبية العامة مكاناً لمبدأ الارتياب لـ «هايزنبرغ » -يرجع إلى الحاشية 2 - وبين هذا المبدأ الذي يعد معلماً أساسياً من معالم ميكانيك الكم quantum mechanic ، mécanique quantique، أو فيزياء ما دون الذرة والجُسيمات العنصرية elementary particles ، particules élémentaires)، لقد تم التنبؤ إذاً بوجود إلكترون يحمل شحنة موجبة أو إلكترون مضاد. وبعد مضي أربعة أعوام، اكتشف « كارل أندرسون » Carl Anderson (1905، الذي حاز على جائزة نوبل عام 1936)، دون أن يكون على علم بأفكار « ديراك »، هذا الجُسيم ذا الطاقة السلبية والشحنة الموجبة، وأطلق عليه اسم بوزترون positron . وتم فيما بعد البرهان رياضياً (وأحياناً تجريبياً في المسرعات الضخمة) على حتمية وجود جُسيمات مضادة للجُسيمات العنصَرية كافة. ويمكن البرهان أيضاً على أن المادة المضادة كانت موجودة في أثناء ولادة الكون (الانفجار الأعظم). كما يمكن الاستنتاج رياضياً أن الكواركات quarks (ويفوق عددها قليلاً عدد الكواركات المضادة التي تفانت مع ما يقابلها في أثناء نشوء الكون) تشكل المادة التي يتألف منها الكون حالياً. وتجدر الإشارة إلى أن الفيزيائي « أرثر شوستر » Arthur Schuster كان قد تنبأ على نحوٍ ما، وقبل « ديراك » بوجود المادة المضادة.

وتجريبية) تقوم (بصورة أساسية) على حقيقة توسع الكون وحقيقة تبرده، إضافة إلى قرائن أخرى سنعرض لها في الفقرة 1 . 3 من هذا الفصل. كما أن هذه الأدلة تثبت أن خلق الكون تم بانفجارين متلاحقين: الأول والأقوى، أدى إلى تكوّن الفقاعات الكمومية الانتفاخية التي توسعت إحداها لتشكل الكون المتوسع، ومفرط التبرد. ومن هنا أتى تعبير الانفجار الأعظم الساخن (الذي يستعمل أحياناً).

1 . 2 .تاريخ نظرية الانفجار الأعظم

من المعروف إن الفلسفات المختلفة، بدءاً من الأساطير السومرية والبابلية وانتهاءً بالماركسية (مروراً بالمعتقدات الفرعونية والصينية والكتابات اليونانية، وأخيراً الديانات التوحيدية)، قد وضعت صيغاً متقاربة لنشوء الكون وخلق كواكبه. وأشارت كلها عموماً إلى اقتران هذا النشوء وهذا الخلق بالظلمة والمياه والشَوَش chaos (أي اللاانتظام)، الذي أخذ بالانتظام مباشرة. وكان معظم هذه الفرضيات ينبثق عن دراسات وملاحظات وتأملات، يغلب عليها الطابع الفلسفي. ومع تقدم فروع الفيزياء والفلك وعلوم الفضاء عامة في الثلث الأول من هذا القرن، أخذت الدراسات الخاصة بعلم الكون cosmology، cosmologie (الكوزمولوجيا) تأخذ شكل بحوث علمية، تستند إلى الملاحظة والقياس. وأصبح لهذا العلم شأن خاص، ورُصدت لبحوثه أموال كبيرة لارتباطه بالأمور العسكرية. فاستُعملت المسابير الفضائية (الأقمار الصنعية والمقاريب الكونية cosmic telescopes، télescopes cosmiques)، والأمواج السنتي مترية والراديوية، وتقنيات الأشعة السينية وتحت الحمراء، والسواتل satellites المختلفة [8] والمسرعات العملاقة، والمعادلات الرياضية، والدراسات الفيزيائية النظرية، بدءاً من ثقالة « نيوتن » والنسبية العامة لـ « آينشتاين » في تجاذب الأجسام الكِبرية وانحناء الضوء أو ما يجمل الآن عموماً تحت اسم النسبية العامة (التي تعالج سلوك الأجسام، والمسافات الكِبرية) إلى كموم «بلانك»« وارتياب » «هايزنبرغ » في دراسة الجُسيمات الأولية دون الذرية، أو ما يعرف بميكانيك الكم.

ويجمع المؤلفون على أن أول من استعمل تعبير الانفجار الأعظم The Big Bang هو الفيزيائي البريطاني « فرد هويل » Fred Hoyle¥ الذي كان يعمل في الحرب العالمية الثانية على تطوير الرادار، والذي يرى في نطاق أخر أن الحياة أتت إلى الأرض من أحد نيازك الفضاء الخارجي. بيد أن الطريف بالأمر أن «هويل» استعمل تعبير الانفجار الأعظم (عام 1948, وعبر هيئة الإذاعة البريطانية) على محمل السخرية، لأنه كان مدافعاً حماسياً عن فكرة كون ثابت وغير متحرك، فكرة يمكن اقتفاء أثرها إلى مدرسة أثينا لعلم الفلك التي كان يقودها «أرسطو » و« بطليموس » اللذان استقيا بعضاً من أفكارهما من « تالس» Thales (624-546 قبل الميلاد)، رياضي وفيلسوف المدرسة «الأيونية» Ionic School، École Ionnienne، ومن «ديمقريطس» Democritus، Democrite (نحو 460-370 قبل الميلاد)، الذي قال عنه «أرسطو »: « يبدو أنه فكر في الأشياء كافة ». ويحكى عن « تالس» أنه كان يتنزه مع صديقته في إحدى الليالي الصافية، مستغرقاً في دراسته التأملية للكواكب، فزلت قدمه ووقع في حفرة كانت في طريقه. فعلّقت صديقته على ذلك قائلة: « كيف تستطيع معرفة ما يجري في السماء ولا تعرف ما يوجد عند قدميك». ومهما يكن من صحة القصة، فلقد كان المقصود دراسة ما على الأرض أولاً.

إن البرهان على فكرة سكون الكون اقتضت من «هويل» أن يأتي بتفسير أعمق من تفسير مدرسة أثينا التي كانت تعتمد الملاحظة فقط. لقد صاغ «هويل» عام 1948 (بالاشتراك مع زميلين له هما: « توماس غولد » Thomas Gold

8. Reeve , H. et al., “ **La Plus Belle Histoire du Monde**“ , Seuil, Paris (1996).

● نعود هنا لنؤكد (بصدد المراجع) أننا سنذكر اسم المرجع الذي استقينا منه المعطيات الواردة في النص في كل مرة تقتضي فيها الضرورة ذلك.

و«هرمان بوندي» Herman Bondi) فرضية تقترح توسـع الكـون نتيجة تباعد المجرات، وذلك كما كان قد اقترح عام 1929 « إدوين هَبْل» Edwin Hubble (1889-1953). بيد أن «هويل» وزميليه اعتقدوا أن تباعد المجرات يؤدي إلى نشوء خلاء، سرعان ما يمتلئ بمجرات جديدة، تتشكل باستمرار من الهدرجين الذي ينشأ من جديد *de novo*، الأمر الذي يسبغ على الكون مظهراً إجمالياً ثابتاً في المكان والزمن. ولكن أمكن فيما بعد البرهان نظرياً وتجريبياً (3.1) على عدم صحة فرضية النشوء المستمر للمجرات من الهدرجين. فاندثرت ثباتية كون «هويل»، وبقي تعبيره « الانفجار الأعظم ».

وعلينا (في هذا الصدد) تأكيد حقيقة ربما لا تبدو واضحة بما فيه الكفاية. فعلى الرغم من الأثر الإيجابي الكبير للفلسفة اليونانية في الفكر البشري، لا بد من الاعتراف بأنَّ أخطاء هذا الفكر (في الأمور العلمية) قد كبّلت الفكر البشري بقيد مطبق، قاس، طوال ألفين وثلاث مئة عام تقريباً. حتى إنَّ بعض الدول شَرَّعت قوانين تمنع معارضة أفكار «أرسطو» وزملائه في مدرسة أثينا، ولم يبدأ هذا الفكر بالتحرر من ربقة القيد اليوناني إلاَّ مع بدايات القرن العشرين. لقد كانت جودة فلسفة «أرسطو» بمقدار سوء فيزيائه. فلقد كان بإمكان « غاليلي »، و« كوبرنيك »، و«جوهانس كبلر» Johannes Kpler (1571-1630)، و«السير إسحق نيوتن» Sir Isaac Newton (1646-1727) أن يتنبؤوا بتوسع الكون في القرن السابع عشر، وكذلك «إيمانويل كنت» Emmanuel Kant (1724-1804) في القرن الثامن عشر، لولا أفكار مدرسة أثينا. لأنه لو كان هذا التوسع غير موجود، وحدث انزياح طفيف جداً في موقع أحد الكواكب (بسبب الحركة الدورانية مثلاً) لتهاوى بعض هذه الكواكب على بعض بسبب فعل الثقالة. فإذا كانت تتباعد، فإن هذا يعني أنها كانت أصلاً كتلة واحدة، تشظت مادتها البدئية نتيجة حدوث انفجار هائل، وإنها ما زالت تتباعد بسبب بقايا قوة هذا الانفجار. إنَّ هذا التنبؤ لم يتم بسبب رسوخ الاعتقاد (ذي المرجعية اليونانية) بسكونية الكون. وكانت قوة هذا الاعتقاد عاتية (لأنه يتفق مع آراء دينية سطحية) إلى درجة أنَّ «آينشتاين» نفسه أقحم في نسبيته العامة (وكان يعمل قبلها في مكتب براءات الاختراع بسويسرا) ثابتة، أطلق عليها اسم القوة الثقالية المضادة، يبرهن بوساطتها على سكون الكون، فشوه جمال معادلاته من جهة، وأوقع نفسه في خطأ فاضح (كما اعترف هو نفسه كتابة إلى «فريدمان»، انظر الحاشية (4.1)، مجتنباً من جهة أخرى الطريق التي كانت سترشده إليها نسبيته العامة بتباعد المجرات، ومن ثم التنبؤ بحدوث الانفجار الأعظم.

ويرجع معظم الفضل في البرهان على صحة نظرية الانفجار الأعظم إلى ثلاثة باحثين رئيسين هم الروسيان «ألكسندر فريدمان» Alexander Friedmann (1888-1925)، وتلميذه «جورج غاموف» George Gamow (1904_ 1968)،

(3.1) مع أنّه تبين أن معدل هذا النشوء ضئيل لدرجة يمكن إهماله (أقل من جُسيم عنصري واحد / كم^3 / عام)، فإنَّ مجرد وجوده يقتضي تعديل النسبية العامة بحيث يُحتسب هذا التشــكل المســتمر. ولقد أمكن البرهان (نتيجة دراسات أجراها فريق من جامعة «كمبردج»، يقوده «رايل» M.Ryle في مطلع الستينات - الذي تعاون مع »هويل« وزميليه في تطوير الرادار في أثناء الحرب العالمية الثانية - على مصادر للأمواج الراديوية داخل مجرتنا، درب التبانة، وخارجها) على أن فرضية النشوء المستمر تتعارض مع الكشف عن هذه المصادر. أضف إلى ذلك، أنَّ « أرنو بنزياس» Arno Penzias (1933)، و« روبرت ويلسون » Robert Wilson، من مختبرات شركة « بل » Bell الأمريكية، قد برهنا عام 1965 (في أثناء دراستهما للإشعاع السنتي متري، وهو أمواج كأمواج الضوء من رتبة أجزاء من المتر، ويبلغ تواترها عشرة مليارات في الثانية) على أنَّ الإشعاع السنتي متري يأتي من خارج مجرتنا، وأنّه مماثل لنفسه بغض النظر عن الاتجاه الذي يأتي منه، الأمر الذي يستوجب الافتراض بأنَّ الكون مماثل لنفسه في الاتجاهات كافة، وأنَّ هذا الإشعاع ثمالي، تبقى من الانفجار الأعظم. بناء على ذلك، أمكن الاستنتاج بأن الكون كان في الماضي أشد كثافة مما هو عليه الآن، وأنَّ هنالك توسعاً للمجرات (والأصح تباعد للمجرات بتأثير الانفجار الأعظم)، دون أن يرافق هذا التباعد أي تشكل جديد.

والكاهن البلجيكي «جورج لومتر» George Lemaitre (1894-1966). وتجــدر الإشــارة إلى أنَّ باحثين كثر، سترد أســماؤهم أثناء معالجة هذا الموضــوع، قد أسهموا أيضاً، بشكل أو بآخر، في إيضاح نظرية الانفجار الأعظم.

لقد تنبأ « فريدمان » (الرياضي الفيزيائي) عام 1922, وقبل هَبْل بسبع سنوات، بأنَّ الكون في توسع دائم، وأوجد أيضاً حـلاً للنسبية العامة (كما كنا قد ألمحنا إلى ذلك) مستبعداً منه الثابتة الكـونية والقوة الثقالية المضـادة، التي أدخلها «آينشتاين»، مبيناً خطأه [4.1]، فأعاد لمعادلات هذه النسبية جمالها وتناظرها وأناقتها [5.1]. لقد مثل « فريدمان » نظريته في توسع الكون بنماذج رياضية، يمكن تمثيل أحدها بالشــكل 1 . 1.

وافترض « فريدمان » أيضاً أن الكون متماثل بغض النظر عن اتجاه الراصد ومكان الرصد. وأنَّ الكون لا يمكن إلاَّ أن يكون متـحـركـاً غير سـاكـن. وهـذا مـا أثـبـتـه فيما بعد «بنزيـاس» و «ويـلسـون» (يرجع إلى الحاشية 3.1). ولتبسيط فكرة تباعد المجرات بعض عن بعض مع ثبات مواقعها النسبية، نفترض أنَّ الكون على شكل نفاخة تحمل على سطحها بقعاً غير منتظمة وغير متجانسة التوزع والكثافة. فكلما نفخنا الهواء في النفاخة كلما تزايد حجمها، وكلما تباعدت البقع بعض عن بعض مع بـقـاء مـواضـعـهـا النسبية ثابتة. ويمكن الاستنتاج أيضاً من هذا التشبيه أنَّ النفاخة (الكون) ليس لها مركز محدد، وأنَّ سرعة تـبـاعـد الـبـقـع يتزايد بتزايد بعد بعضها عن بعض. كما ويمكن الاستشفاف من نماذج «فريدمان» أن مقدار انزياح طيف الضوء الوارد من مجرة ما نحو اللـون الأحمـر (أطول موجة في الطيف المرئي) يتناسب مع بعد هذه المجـرة عن الأرض (وتُعدّ هذه النتيجـة من النتائج الرئيســة التي توصل إليها هَبْل عام 1929, ودفـعـتـه إلى الـتنبؤ بهـــروب المجرات وتوســع الكون، انظر فعـل دوبـلـر - فيزو في الفـقـرة التـالـيـة).

انفصال مجرتين
انفجار أعظم
انسحاق أعظم
الزمن

الشكل 1 . 1 . تمثيل توسّع الكون (تباعد المجرات) توسعاً محدوداً بفعل قوة الانفجار الأعظم وحركة المادة (الطاقة المحـتـواة في حركة المـادة) من جهة ، وبفعل قوة الثقـالـة (الطاقة التثاقلية) من جهة أخرى . وتعرف النسبة بين الطاقة التثاقلية والطاقة الحركية بالمعامل أوميغا omega . إن هذا الشكل يمثل توسعاً محدوداً للكون حيث تتغلب فيه الطاقة التثاقلية على الطاقة الحركية ، أي إن قيمة أوميغا تصبح أكبر من واحد ، ومن ثم فإن الكون سيعاني (في وقت ما) ، ووفقاً لهذا «السيناريو» ، انسحاقاً أعظم ، فانفجاراً أعظم جديداً ، فانسحاقاً أعظم ، وهكذا ، أي إنه كونٌ مغلق. وهذا هو النموذج الريـاضي الأول لـ« الكســندر فريدمان » (الشكل عن Hawking,1997 ، المرجع 6 ، ص. 48) .

إنَّ الأمر المثير للإعجاب حقاً أنَّ نماذج « فريدمان » (التي ظلت مجهولة في الغرب حتى عام 1935, عندما وضع

(4.1) لم يتح للغرب (لأسباب إيديولوجية سياسية) أن يسمع بـ«فريدمان»، فظلت نماذجه مجهولة حتى وقت متأخر. لكنه كان على درجة من الثقة بالنفس والشجاعة بأن كتب إلى « آينشتاين » موضحاً له الخطأ الذي ارتكبه بافتراضه الثابتة الكونية، فاعترف « آينشتاين » كتابة، وبتواضع، بأنَّ حلول «فريدمان» صحيحة، وإنَّ ثابتته الكونية كانت خطأً فادحاً، وخروجاً فاضحاً على النسبية العامة.

(5.1) إن أهم دليل على صحة النظرية الفيزيائية أو الرياضية هو جمالها وأناقتها. يمكن الرجوع (من أجل معالجة مسهبة لهذه الناحية) إلى المرجع 4، الصفحات 109-132. إن هذا الجمال وهذه الأناقة يتمثلان أيضاً بظاهرة التناظر الفائق التي تخصص بنية الطبيعة، وتتبدى على نحو واضح في ميكانيك الكم، حيث يمكن إرجاع بنى أدق الجُسيمات العنصرية إلى أوتار أو أغشية (النظرية M في توحيد قوى الطبيعة الأربع والتي توائم بين النسبية العامة وميكانيك الكم، وتبرهن على أنَّ قوانين الفيزياء تبقى هي نفسها بالنسبة للراصدين كافة بغض النظر عن مواقعهم وعن المقاييس التي يستعملونها. كما أنَّ النظرية M تبرهن على وجود أحد عشر بعداً، تخصص متصلة continuum المكان والزمن، وليس مجرد أربعة أبعاد وفقاً للمفاهيم الحالية. وتجدر الإشارة إلى أنَّ النظرية M تقوم على أساس التناظر الفائق الذي يخصص الكون ومكوناته).

«روبرتسون» H.Robertson في الولايات المتحدة و «وكر» A.Walker في إنكلترا، استناداً إلى توسع «هَبْل» للكون نماذج مماثلة لنماذج « فريدمان »)، تتنبأ بكوَّن محدود الفضاء، إنما بدون حدود أو حوافٍ حادة، تغلقه على نفسه قوة الثقالة. إنه شبه كرة هائلة، إذا ما سار عليها جسم ما باتجاه واحد، فإنه سيدور حولها عائداً إلى نقطة انطلاقه، كما يحدث عندما يدور أحدنا حول الأرض. وأمكن البرهان لاحقاً على أنَّ الكون يتوسع ما بين 5 إلى 10 في المئة كل مليار عام (ذلك أنه كان عند بدء تشكل المجرات، بعد مليار عام من حدوث الانفجار الأعظم، بحجم يعادل تقريباً نصف حجمه الحالي). أضف إلى ذلك، أن السمة الأساسية لنماذج «فريدمان» تتمثل بأنَّ المسافات بين المجرات كانت في البدء معدومة، وكانت الكتلة الأولية التي وِلد منها الكون لا نهائية الكثافة من حيث الارتصاص، وفي هذه الكتلة الكمومية حدث الانفجار الأعظم. كما أمكن أيضاً إيجاد صيغة رياضية توفيقية (كما سنشير إلى ذلك لاحقاً) تجمع بين النسبية العامة (كقانون يحكم الأجسام والمسافات الكبرية، وانحناء الضوء والمكان والزمن)، وبين ميكانيك الكم (الذي يحكم بكموميته، ومبدأي ارتيابه واستبعاده، الجُسيمات العنصرية دون الذرية للمادة، بدءاً من الإلكترون حتى الكوارك والغليون gluon، مروراً بأكثر من 32 جُسيماً أولياً). وتبرهن هذه الصيغة على أنَّ الكون محدود في الزمن والمكان، ولكنه، كالأرض، مستمر دون حدود أو حوافٍ (دراسات « هوكنغ » و« بنروز » Penrose التي سنعرض لها لاحقاً). وتبين من الأبحاث التي أجريت في العام 2001 وما بعد أن للكون شكل مُلاءة ذات تضاريس، حددتها قوة الثقالة، وأنه مازال يعاني من توسع إنما ضئيل جداً.

وأخيراً، لا بد من الإشارة إلى أن «فريدمان» قضى (نتيجة إصابته بالحمى التيفية) عام 1925 وعمره 37 عاماً فقط، وذلك قبل أن يرى تحقق البرهان القاطع على صحة معادلاته ونماذجه. إن حياة « فريدمان » العلمية، وموته المبكر بهذا المرض مأساة على المستوى الشخصي، ومحنة على المستوى الإنساني.

أما «غاموف»، فلقد عالج موضوع الانفجار الأعظم من الناحية الفيزيائية، ذلك أنه لم يكن على وفاق مع الرياضيات. كان «غاموف» أول من تحدث عن«الفعل النفقي الكمومي» effect de, quantal tunnling effect tunnel quantique، حيث يمكن لبروتون ذي طاقة غير فائقة أن يخترق النواة. وبناءً على هذه الفكرة، أنجز «جان كوكروفت» John Cockroft و« إرنست والتون » Ernest Walton عام 1932 في مختبر «إرنست رزرفورد» Ernest Rutherford (1871-1937, الذي نال جائزة نوبل عام 1908) في كمبردج أول تفاعل نووي بتحويل نواة الليتيوم إلى نواة الهليوم (عكس ما كان قد حدث في الكون)، بقذف نواة الليتيوم ببروتونات الهدرجين المسرعة بتوتر كهربائي عال.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ «غاموف» درس على « فريدمان » في لينينغراد (سان بترسبورغ حالياً)، وغالباً ما كان يوصف بأنَّه غريب الأطوار، يخشى الرياضيات، ويهوى الفكاهة. هاجر إلى الولايات المتحدة عام 1933. اشتُهر عنه (وهو أستاذ في إحدى جامعات واشنطن، العاصمة الفدرالية) أنه دعى الفيزيائي الألماني «هانس ألبرخت بيته» Hans Albrecht Bethe (1906 - الذي كان أسهم عام 1938 في تفسير ما يحدث من تفاعلات نووية في جوف الشمس، انظر الحاشيتين 1.4 - 8.1، وشارك فيما بعد بصنع أول قنبلة نووية، وفاز بجائزة نوبل عام 1967)، دعاه، عندما كان يزور نيويورك عام 1948 (وكان يعمل مع غاموف آنئذٍ تلميذه «رالف ألفر» Ralph Alpher)، دعاه إلى الاشتراك في كتابة مقالة علمية عن

التحولات النووية، اشتُهرت فيما بعد بالاسم: ألفا، بيتا، غاما (ألفا من «ألفر»، وبيتا من «بيته»، وغاما من «غاموف» الأحرف الثلاثة الأولى من الأبجدية اليونانية). وتجدر الإشارة إلى أن مقالة ألفا بيتا غاما تحدثت، لأول مرة، عن كون بدئي ساخن، وتنبأت (على نحو مثير) بأنّ الإشعاع الأولي الناجم عن الانفجار الأعظم قد تبرد، لتصبح درجة حرارته فوق الصفر المطلق بقليل (2،7 كلِفن تقريباً)، وبقيت من أمواجه (نتيجة تباعد المجرات) ما هو سنتي متري فقط، وانزاح طيف الضوء (بسبب ذلك) باتجاه طيف الضوء الأحمر، وهذا ما اكتشفه عام 1965 « بنزياس» و«ويلسون» (يرجع إلى الحاشية 1 . 3).

وافترض «غاموف» عام 1949 (تعميقاً لنماذج «فريدمان») أنّ الكون كان، في بدء بدايته، خارق التوهج، ومفرط الكثافة، وفائق الإشعاع. فإذا كان الأمر كذلك، لا بد أن نعثر في أيامنا هذه على بقية من هذه الحرارة ومن هذا الإشعاع. لقد تبردت هذه الحرارة، وخبا هذا الإشعاع (نتيجة تباعد المجرات)، لتصل درجة الحرارة إلى درجة قريبة من 271 تحت الصفر (أو 728،2 كلفن، يرجع إلى الحاشية 3). وغني عن البيان أنّ الجملة عندما تصبح في الصفر المطلق تصبح مجردة من أيِّ طاقة حرارية، وتتوقف جزيئاتها عن الحركة (تنعدم أيضاً الطاقة الحركية). وأكد «غاموف» أنه بالإمكان الكشف عما تبقى من الانفجار الأعظم على شكل شعاع (بصيص) كوني بارد.

ظلت فرضية «غاموف» مهملة حتى عام 1964, عندما قام فريق من جامعة برنستون في ولاية نيوجرزي (في الولايات المتحدة)، يقوده الفيزيائيان «روبرت ديك» Robert Dick و«جان بيبلز» John Peebles، اللذان كانا يدرسان (كما كان يدرس قبلهما «بنزياس»و«ويلسون» من شركة بل في نيوجرزي أيضاً، يُرجع إلى الحاشية 1 . 3، ولكن دون علم فريق «ديك» و« بيبلز » بأبحاث «بنزياس» و«ويلسون»، على الرغم من ضآلة المسافة المكانية التي تفصل بين الفريقين) الأمواج السنتي مترية. لقد اكتشف هذا الفريق (كما كان قد اكتشف قبل ذلك « بنزياس» و «ويلسون») أن بصيص ولادة الكون يصل إلينا من أصقاع الكون مفرطة البعد، وأن طيف هذا الإشعاع قد انزاح (نتيجة توسع الكون وتباعد المجرات) نحو موجة الضوء الأحمر في أثناء قطع الضوء للمسافة الهائلة التي تفصل أطراف الكون عن الأرض(قرابة مليون مليار مليار أي 10^{24} كيلومتر). وإنّ هذا البعد الهائل لم يتح إلا للإشعاع السنتي متري بالوصول إلى الأرض [6.1]، (موضوع سنعرض له في الفقرة التالية). ومن المعلوم أنّ الإشعاع هو ظاهرة مزدوجة موجية جُسيمية من الفوتونات(حوامل أو رسل القوة الكهرطيسية)، ويتألف من تذبذب حقول كهربائية مغنطيسية (كهرطيسية)، وسرعته ثلاث مئة مليون متر في الثانية (أي سرعة الضوء)، ويشتمل على الأمواج الراديوية في الطرف الكِبري من الطيف، وعلى أشعة غاما في الطرف الكمومي منه (مروراً بالأمواج الصِغرية، ومنها السنتي مترية، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة

(6 . 1) إنّ طول الموجة يتناقص مع تزايد طاقة الفوتون (الرزمة الكمومية) ومع تزايد قدرة الأشعة على النفاذ، ومن ثم يتجه الطيف من الطرف الكمومي (أشعة غاما) إلى الطرف الكوني (بدءاً من متر واحد). وتجدر الإشارة إلى أنّ أشعة غاما، هي كموم (رزم) كهرطيسية خاصة بنوى العناصر غير المستقرة، وتعاني من عدم الاستقرار نتيجة اختلال التوازن بين كواركات البروتونات وكواركات النترونات، الذي يصادف في النظائر المشعة. ويستمر انطلاق أشعة غاما ذات النفاذية الهائلة حتى تستقر النواة في وضع طاقي أدنى (وتُعدُّ هذه الأشعة العامل الرئيس المسؤول عن التشوهات الوراثية وأنواع السرطانات التي أعقبت ضرب هيروشيما وناغازاكي بالقنبلتين الذريتين الأمريكتين: الولد السمين Fat Boy، والولد الصغير Little Boy). ولا بد من التذكير هنا بأنّ طاقة الفوتون تتوقف على تواتر الإشعاع (أي عدد الذبذبات في الثانية الواحدة). فكلما قصر طول الموجة، ازداد التواتر، وارتفعت بالتالي الطاقة. ويعود الفضل في دراسة هذه العلاقة إلى «بلانك»، حيث تعرف النسبة بين طاقة الفوتون وتواتر الإشعاع بثابتة «بلانك» (يرجع إلى الحاشية 2). إنّ طيف الأشعة المرئي ينزاح من الضوء البنفسجي الأزرق (أقصر طول موجة في هذا الطيف) إلى الضوء الأحمر (أطول موجة في الأشعة المرئية). ويتناسب مقدار هذا الانزياح مع المسافة التي يقطعها الضوء (الإشعاع). فكلما بعدت المسافة، ازداد الانزياح نحو الأحمر، وازدادت شدة الاحمرار. إنّ هذا الانزياح أتى نتيجة ←

المرئية، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية) وذلك وفقاً للجدول 1.1. وتجدر الإشارة إلى أنّ «بنزياس» و «ويلسون» نالا عام 1978 جائزة نوبل للفيزياء على اكتشافهما (الذي لم يكن سوى تأكيد تجريبي على صحة نبوءة «غاموف»)، وحجبت الجائزة عن «ديك» و«بيبلز»، اللذين خرجا (مع «غاموف») صفر اليدين.

الجدول 1 . 1. توزع الطيف الطبيعي للإشعاع

الأشعة	طول الموجة (المسافة بين ذروتين متتاليتين)
الأمواج الراديوية	من 1000 متر إلى 1 متر (أو ألف ميلي متر)
الأمواج الصِغرية (السنتي مترية)	من 1 متر إلى 1 ميلي متر (أو ألف مِكرومتر)
الأشعة تحت الحمراء	من 1 ميلي متر إلى 1 مِكرومتر (أو ألف نانومتر)
الأشعة المرئية	من 1 مِكرومتر إلى 0.1 مِكرومتر (أو مئة نانومتر)
الأشعة فوق البنفسجية	من 100 نانومتر إلى 1 نانومتر (أو 10 أنغستروم¥)
الأشعة السينية	من 10 إلى 0.1 أنغستروم
أشعة غاما	من 0.1 إلى 0.001 أنغستروم

أما الباحث الثالث الذي أسهم في ترسيخ فكرة الانفجار الأعظم فهو الكاهن البلجيكي «جورج لومتر». ومع أنّ «لومتر» أدى خدمة العلم في أثناء الحرب العالمية الأولى، فلقد حصل على درجة الدكتوراه في الرياضيات عام 1920(كان عمره آنئذ 26 عاماً). ثم درس اللاهوت في معهد للكهنوت، ورُسم كاهناً عام 1923. ولكن سرعان ما عاد لومتر إلى البحث في الفيزياء الفلكية، وعمل في أواخر العشرينات في مختبر السير «أرثر إدينغتون» Sir Arthur Edington (1882-1944) في كمبردج (ويحكى عن «السير إدينغتون»، وكان على ما يبدو متعجرفاً، أنه أكد في عام 1921- وفي إثر مرور ستة أعوام تقريباً على نشر نظرية النسبية العامة- عندما سئل عن عدد الذين يفهمون هذه النظرية، أكد أنّ شخصين فقط في العالم يفهمان هذه النظرية، وكان يقصد نفسه، و« آينشتاين» واضع النظرية).

ويمكننا أن نستشف (من أدبيات الفيزياء الفلكية) أنّ لومتر يُعَدُّ (بسبب جهل الغرب لنماذج «فريدمان») مؤسس نظرية الانفجار الأعظم. ومع أنّه لم يكن على درجة كبيرة من الشهرة بسبب تواضعه وكراهيته للمظاهر الدعائية، فإنّ نشره لأفكاره الأصيلة عام 1923 (قبل اكتشاف هَبْل توسع الكون بست سنوات) أكسبته شهرة علمية واسعة. ويجمع المؤلفون على أنّ « لومتر » لم يكن ظاهرياً على علم بنماذج «فريدمان »، التي نشرت في الاتحاد السوفيتي السابق عام 1922.

لقد وضع « لومتر » نظرية أنيقة (كان ديراك يؤكد دائماً أنّ مدى صحة النظرية مرتبط بدون استثناء بمدى أناقتها) لكون بدأ توسعه منذ زمن سحيق. وانسجاماً مع معتقداته الدينية، فلقد ذكر أنّ هذا الكون خُلق في يوم ليس له أمس.

لقد اقترح «لومتر» أنّ الكون قد وُلد (وكذلك المكان والزمن) من انفجار هائل، حدث في ذرة بدئية

←التباعد المتزايد للمجرات، وهذا ما يعرف بفعل «دوبلر - فيزو» Fizeau-Doppler للأمواج (انظر الفقرة التالية). يمكن إذاً اعتبار درجة الانزياح (من البنفسجي الأزرق إلى الأحمر)، وكذلك شدة الاحمرار، مقياسين لمعدل تباعد المجرات (أو هروب بعضها عن بعض) ولتزايد قطر الكون.

¥أنغستروم Angeström وحدة الطول، ويساوي جزءاً من عشرة مليارات جزء من المتر (أو10^{-10} متر) . سمي كذلك نسبة إلى الفيزيائي الفلكي السويدي «أندرز جوناس أنغستروم» (1814-1874) Anders Jonas Angeström .

L 'Atome Primitif,The Primitive Atom (أتـى الـتـعـبير أصـلاً بالفرنسية)، كانت فيها المادة مضغوطة ضغطاً هائلاً. واعـتـقـد «لـومتر» خـطـأ أنّ هـذه الـذرة الـبـدئية هي نترون فائق الثقل والحجم (كان تعبير نترون neutron، neutrone حديث التداول، واسـتعمل لأول مرة من قبل «إرنست رزرفورد» في عام 1920, وذلك قبل الاكتـشاف الفعلي لهذا الجُسيم عام 1932 من قبل « جيمـس شادويك » James Chadwick 1891-1974, تلميذ «رزرفورد»، والـذي حـاز على جائـزة نوبـل عام 1935)، انفجـر بسبب نشـاط إشـعاعي مجـهول (وقـد تسـتقيم أراء «لومتر» إذا استبدلنا بذرته البدئية، وبنشاطه الإشعاعي الكتلة الكمومية والركام الكمومي اللذين حدث فيهما الانفجار الأعظم).

وغني عن التأكيد أنّ العلماء يجمعون حالياً (كما كنا عرضنا لذلك) على أنّ ولادة الكون، نتيجة الانفجار الأعظم، حدثت في كتلة كمومية لا نهائية الصغر وفائقة الكثافة ومفرطة السخونة (تفوق درجة حرارتها درجة حرارة «بلانك») والشوش (اللاانتظام والعشوائية)، وتتألف (مع ركامها الكمومي) من جُسيمات غريبة غير مألوفة، وجُسيمات مضادة، تتكون وتتفانى باستمرار. ولقد تشكلت عن الانفجار الأعظم الأول فقاعات كمومية، كما تتشكل من بخار الماء الآخذ بالغليان فقاعات تكسر تناظر (تجانس) هذا الماء، وتوسـعت إحداها في الخلاء فائق التناظر (التجانس) ومفرط التبرد أكثر من مليار مليار مرة وبسرعة تفوق سرعة الضوء. وفي إثر مرور جزء من مئة ألف مليار مليار جزء من الثانية على حدوث الانفجار الأعظم، طُرحت الطاقة المتبقية من الكتلـة والركـام الكموميين (على شكل انفجار ثانٍ، إنما أضعف وأبطأ من الأول)، لتسخن الخلاء المحيط مفرط البرودة إلى درجة حرارة تقل عن درجة «بلانك»، أيّ تقل عن مئة ألف مليار مليار (أي 10^{32}) درجة مطلقة.

بيد أنّ الخطأ الذي وقـع به « لومتر» (وهو خطأ هـامشـي جداً لا يمـس جوهر الفـكـرة) لا ينقص من القيمة العلمية لنبوءتـه المذهلـة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن «لومـتر» (وبينما كـان يرقـد في المستـشفى عام 1965, في إثـر تعـرضـه لنوبـة قلبية، وقبل وفاته بعام واحد) قرأ عدد تموز (يوليو) من مجلة الفيزياء الفلكية Astrophysical Journal التي نشرت نبأ اكتشـاف «بنزياس» و «ويلسـون» من جـهة، و« ديك » و« بيبلز» من جـهـة أخـرى، الإشـعاع السـنتي متري للـكون، وهو اكتشـاف اعتـبر برهـانـاً قاطـعـاً على صـحـة نبوءة «لـومـتر».

3.1 . الأدلة على حدوث الانفجار الأعظم

لقد تحولـت الأفكار الخاصة بفرضية الانفجار الأعظم خلال سنوات قليلة نسبياً إلى حقائق تشكل نظرية راسخة تعرف بالطراز المعياري، وتتصف بمقومات النظرية العامة الشاملة، وتعد أكبر حدث علمي كوني تحقق في القرن العشرين. إنّ ولادة الكون بحدث الانفجار الأعظم لا تفسـر النماذج الريـاضية والقياسـات التجريبية التي تمت حتـى الآن فحسب، إنما تقدم تفسيرات منطقية لملاحظات عديدة، نذكر منـها بقايا (أو مسـتحاثات) الانفجـار الأعظم [8]، وعتمة الكون مثلاً. ولئن غمدنا إلى تكرار بعض جوانب الوصف الموجز لولادة الكون وظروف تلك الولادة، فلأننا نتوخى ترسـيخ خصـائص هذه الـولادة، وتعميق أوصـافـهـا.

فالكون وُلِدَ (وولد معه المكان والزمن وكذلك قوة الثقالة) نتيجة انفجارين متعاقبين، كان الأول منهما على درجة من القوة بحيث لن يشهد له الكون مثيلاً، لا من حيث تأثيره ولا من حيث مكونات كتلته وركامه الكموميين. كانت القوى الأربع للطبيعة قبل هذه الولادة موحدة في قوة واحدة كبرى غير وظيفية، ذات بنية غشائية حويصلية وترية ذات أحد

عشر بعداً. لقد أدى الانفجار الأول إلى تشكل فقاعات كمومية (كما سنرى) في انتقال طوري، يكسر التناظر، يماثل ما يحدث في الماء الآخذ في الغليان. وتوسعت إحدى هذه الفقاعات في خلاء فائق التناظر (التجانس)، ومفرط التبرد أكثر من مليون مليون مليون مرة وبسرعة تجاوزت سرعة الضوء. أما الانفجار الثاني الأضعف والأبطأ، فحدث في إثر مرور أقل من جزء من مليار من الثانية، نتيجة طرح الطاقة المتبقية في إثر حدوث الانتفاخ وتوسعه. لقد أدى الانفجار الثاني إلى تسخين الخلاء مفرط البرودة تسخيناً فائقاً، وصل إلى درجة حرارة تقل عن درجة حرارة « بلانك ». ولا بد من التذكير أيضاً بأنّ الكتلة الكمومية البدئية كانت لا نهائية الصغر (أقل من طول «بلانك»)، وذات كثافة لا نهائية الكبر، وإشعاع مفرط، وسخونة تفوق درجة حرارة «بلانك». ولقد تألفت الكتلة وركامها الكمومي من جُسيمات غريبة غير مألوفة وجُسيمات أخرى مماثلة، إنما مضادة للأولى. وكانت هذه الجُسيمات ومضاداتها تتشكل وتتفانى باستمرار. كان الشَوش[9] (االلاانتظام والعشوائية) والفوضى سائدين وفقاً لمبدأ الارتياب. وما إن تعاقب الانفجاران، حتى بدأت الجملة تنحو باتجـاه الانتظام وبعكس مبدأ الأنتروبية (مع استبعاد معلم درجة الحرارة، يرجع إلى الحاشية 1). وتجدر الإشارة إلى أنّ الديانات التوحيدية تتحدث كلها عن هذا الانتظام[9] إنما تربط ولادة الكون بالمياه والظلمة. هذا، ويمكن تلخيص الأدلة على ولادة الكون بحدث الانفجار الأعظم على النحو التالي:

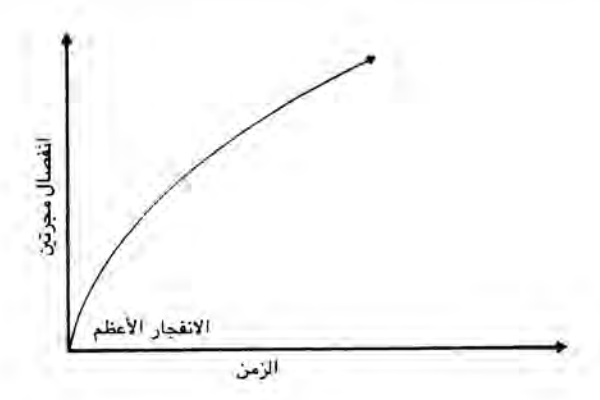
1- توسع الكون
2- الأشعة الثمالية
3- تبرد الكون
4- بقايا الفوتونات والهليوم

1.3.1 توسع الكون

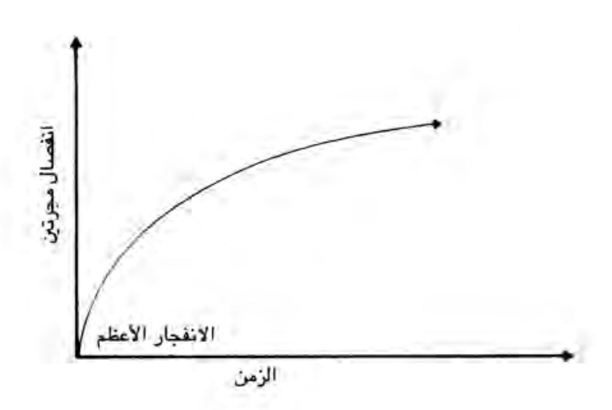
لا بد منذ البداية تأكيد حقيقة محورية تشكل (هي وعكسها) مركز الثقل في نظرية الانفجار الأعظم، أو النموذج المعياري. وتتمثل هذه الحقيقة في أنّ توسع الكون حدث، ولا يزال يحدث، بسبب قوة الانفجار الأعظم. فإذا كانت المجرات تندفع بتباعد بعضها عن بعض؛ والكون يتوسع باستمرار، فإن ذلك يرجع إلى قوة الانفجار الأعظم التي سببت توسع الفقاعة الانتفاخية الأولى، وشكلت الجزر البدئية للكون الوليد وأدت، وتؤدي باستمرار، إلى تباعد المجرات وتوسع الكون. فتزايد نصف قطر الكون وهروب المجرات، متنائياً بعضها عن بعض لم يحدث، ولا يحدث حالياً، بسبب قوة غامضة، إنما بسبب قوة الانفجار الأعظم (موضوع سنعرض له بالتفصيل في الفصل الثالث من هذا الكتاب). وقد يكون من الأصوب القول بأنّ المجرات يتباعد بعضها عن بعض من أن نقول إن الكون يتوسع. إنّ الكون لا يتوسع بحركة تلقائية ذاتية فاعلة، إنما يزداد قطره بتباعد المجرات (أو هروب بعضها عن بعض) بسبب قوة الانفجار الأعظم. ولئن كنا نستعمل تعبير توسع الكون، فإنما نقصد بذلك حركة منفعلة يعانيها الكون، وليس بسبب حركة فاعلة، تتولد منه ذاتياً.

وكما كنا ذكرنا في ما سبق، فإنّ رسوخ أفكار مدرسة أثينا عموماً، و«أرسطو» خصوصاً، عن سكون الكون حال دون ملاحظة توسع الكون وديناميّته، أو حتى التنبؤ بذلك منذ أيام «غاليلي» (في القرن السابع عشر) وحتى عام 1915، عندما وضع «آينشتاين» النسبية العامة، مروراً بـ«نيوتن» و«كنت» وغيرهما من الفلاسفة والرياضيين والفلكيين. ولو أن

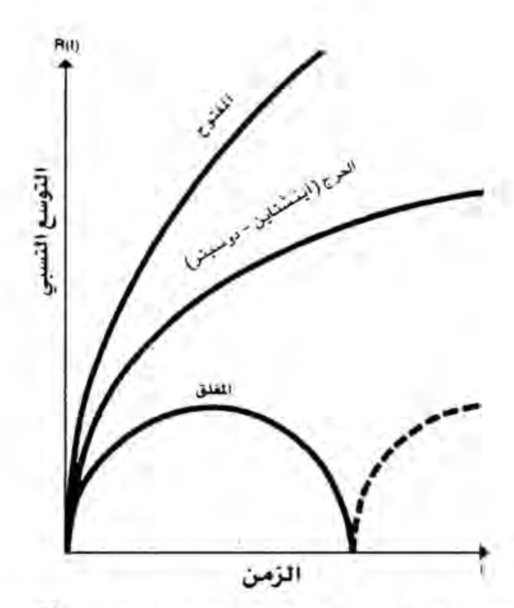
9. Stewart , I., “ **Does God Play Dice , The Mathmatics of Chaos**“ , Penguin Books Ltd, London (1997).



الشـــكل 2.1. تمثيل توسع الكون (تباعد المجرات) توســعاً غير محدود ، حيث تتغلب الطاقة المحتــواة في حــركـة المادة في أثناء توسع الفضاء على الطــاقة التثاقلية ، فتصبح قيمة أوميغا (يُرجـع إلى شـــرح الشـكل 1.1.) أصغر من واحد، ويتوســـع الكون (تهـرب المجرات عن بعضها البعض) إلى ما لا نهاية؛ أي إنه كون مفتوح . وهذا هو الـنمــوذج الرياضي الثاني لـ« الكســـندر فريدمــان» (الشــكل عن Hawking, 1997 المرجع 6 ، ص. 48) .



الشكل 3.1. تمثيل توسع الكون (هروب المجرات) توسعاً ثابتاً تقريباً تتساوى فيه الطاقة التثاقلية مع الطاقة المحتواة في حركة المادة في أثناء توسع الفضاء (الناتجة عن فعل قوة الانفجار الأعظم من جهة وعن مبدأي الاستبعاد لـ« باولي » ، والارتياب لـ« هايزنبرغ » من جهة أخرى) إن قيمة أوميغا في هذا «السيناريو» (النموذج الرياضي الثالث لـ« الكسندر فريدمان ») تساوي 1 بتقريب قدره جزء من مليار مليار جزء . أي إذا زادت هذه القيمة لأوميغا على واحد بأقل من جزء من مليار مليار جزء ، فإننا نصبح في « السيناريو » الأول (الشكل 1 .1) ، وسيعاني الكون دورات لا نهائية من انسحاق أعظم فانفجار أعظم . أما إذا قلت قيمة أوميغا عن واحد بأقل من جزء من مليار مليار جزء ، فإن الكون سيتوسع إلى ما لا نهاية ، ونصبح في « السيناريو » الثاني (الشكل 1 .2) . ويُجمع الفلكيون على أن قيمة أوميغا ستظل مساوية لـ 1 ، أو قريبة جداً من هذا الرقم . وستظل الطاقتان (التثاقلية والحركية) شديدتي التقارب، ، ويبقى الكون في وضع حرج ، يتوســع توسعاً ثابتاً ومتســـاوي الاتجاهات (النموذج الرياضي الثالث لـ« الكسندر فريدمان ») ، ويأخذ شكل مُلاءة ذات تضاريس . ويمكن تشبيه هذا الوضع الحرج للكون بموازنة هرم ضخم يقف على رأسه . فالكون لن يدخل في دورات الانسحاق ـ الانفجار ، ولن يتوسع إلى ما لا نهاية إلا قليلاً جداً (الشكل عن Hawking,1997 ، المرجع 6 ، ص. 48) .



الشكل 1 . 4. تمثيل النماذج الرياضية الثلاثة لـ » الكسندر فريدمان « . فالكون إما مغلق (أوميغا أكبر من 1 ، والتوسع محدود ، ينتهي بانسحاق أعظم ، فانفجار أعظم ، وهكذا ، القرموزي العاتم) ، أو مفتوح (أوميغا أقل من 1 ، والتوسع مستمر إلى ما لا نهاية ، الأحمر) ، أو في وضع حرج (أوميغا تساوي 1 أو قريبة جداً منه ـ بتقريب قدره جزء من مليار مليار جزء ، والتوسع ثابت في الزمن ، الأخضر) . و يكون الكون في الحالة الأولى (الكون المغلق) كروي الشكل ، وفي الحالة الثانية (الكون المفتوح) زائدي المقطع ، وفي الحالة الثالثة (الحالة الحرجة) مسطحاً ذا تضاريس . وبدهي أن تكون أوميغا ذات علاقة مباشرة بما يعرف بالكثافة الحرجة للكون، التي ترتبط هي نفسها بقيمة ثابتة « هَبْل » التي تظل تقريبية (انظر الحاشيتين 1 . 9 و 3 . 1) . إن هذه الكثافة الحرجة لمادة الكون (انظر الفقرة 3 . 1 . 2) تقارب 5×10^{-30} غرام بالسنتي متر المكعب (الشكل عن Bersani,1983 ، المرجع 14 ، ص. 382) .

«أينشتاين» قرأ نظريته في النسـبية العامة قراءة صحيحة، ولم يشـوه جمال معادلاتهـا بإقحامه الثابتة الكونية (كي يـجـعـل الـكـون ثـابـتـاً)، لـتـنـبـأ بـتزايد قطر الكون قبل أربعة عشر عاماً من قياسات «هَبْل» التي برهنت على هروب المجرات. ولا بد من تأكيد أنّ الإشعاع الشمالي (المتبقي) للكون وتبرد حرارته هما نتيجة مباشرة لتوسع هذا الكون من جهة، ولعمره من جهة أخرى. وغني عن البيان أنه نظراً لاستحالة قياس المسافات التي تفصل المجرات بعضها عن بعض، فإنه من البدهي أن يلجأ الرياضيون الفلكيون إلى معالجة الموضوع باقتراحهم نماذج رياضية تفسر ذلك.

ومما لا لبس فيه، أن الفضل في التنبؤ بتزايد قطر الكون يرجع إلى الرياضي الفيزيائي الروسي «الكسندر فريدمان» الذي وضع نماذجه الرياضية (بناء على قراءة صحيحة للنسبية العامة، ووضع حلول تنبثق عن هذه القراءة)، وبرهن بوساطتها على وجود بداية للكون حدث فيها الانفجار الأعظم، وعلى أنّ هذا الكون يتوسع باستمرار (يرجع إلى الشكل 1 . 1). كما يمكن الاستنتاج من قراءة أبعد لنماذج «فريدمان» أن الكون ربما لا يعاني ارتصاصاً أعظم، بل قد يبقى في توسع دائم، إما بمعدل ثابت متوازن (الشكل 2.1 يرجع أيضاً إلى الحاشية 4)، أو بمعدل متسارع (الشكل 1 . 3).

هذا ويمكن دمج هذه الأشكال (1 . 1، و 2.1 و 1 . 3) بالشكل 1 . 4 وبناء على نماذج «فريدمان»، يمكن التنبؤ (نتيجة تزايد قطر الكون، وتزايد تباعد المجرات عن الأرض) بالإشعاع الشمالي (المتبقي) للمجرات، ومن ثم انزياح الطيف المرئي للضوء، بسبب المسافات الهائلة التي يقطعها من البنفسجي الأزرق (أشد التواترات المرئية وأقصرها من حيث طول

الموجة) باتجاه الطيف الأحمر (أضعف هذه التواترات وأقلها طاقة وأطولها موجة). كما يمكن التنبؤ بتبرد الكون وتفسير ظلمة السماء في الليل، أو الفضاء بين المجرات، ووجود فوتونات مستحاثية (تجوب الفضاء منذ قرابة 13 مليار عام، ونشأت عن الانفجار الأعظم) وكذلك وجود الهليوم في جو الأرض.

ولقد قام «ستيفن هوكنغ» و «روجير بنروز» Roger Penrose ما بين عامي 1965 و 1970 ببحث نظري تاريخي (حيث كان «هوكنغ» يقوم ببحثه في كمبردج لنيل درجة الدكتوراه) برهنا فيه على أمرين مهمين جداً: الأول منهما إمكان التوفيق (ولأول مرة) بين النسبية العامة (فيزياء الأجسام والمسافات الكبرية، بدءاً بأجسام محيط الإنسان، حتى المجرات، بما في ذلك انحناء الضوء والمكان والزمن)، وبين ميكانيك الكم (فيزياء الجُسيمات العنصرية، بدءاً بالإلكترون حتى الكوارك) في نظرية واحدة (كما فعل قبلهما «ديراك»، يرجع إلى الحاشية 1.2)، فوفّق بين نسبية «آينشتاين» الخاصة ومبدأ الارتياب لـ «هايزنبرغ» (يرجع إلى الحاشية 2). أما الأمر الثاني، الذي برهن عليه «هوكنغ» و«بنروز» (من خلال دراستهما لتشكل الثقوب السود) فهو الإمكان الفعلي لحدوث الانفجار الأعظم.

وكما كنا بيّنا، فإنّ نماذج «فريدمان» تشير إلى أنّ المجرات كانت في الماضي السحيق (قبل 13 مليار سنة تقريباً) غير موجودة. كما أن كثافة الكون كانت في تلك اللحظة (لحظة الانفجار الأعظم) لا نهائية في كبرها (الأمر الذي يقتضي، وفقاً للنسبية العامة، أن يكون انحناء المكان والزمن- أي الأبعاد الأربعة - لا نهائي الشدة). ففي وضع من هذا النوع (حيث تنهار المعالجات الرياضية، وتلقى القوانين الخاصة بالقوى الأربع للطبيعة حتفها)، أوجب على الرياضيين أن يطلقوا على هذه النقطة (ذات الخصائص الخارقة في غرابتها والمتميزة عن كل شيء آخر) اسم الجُسيم المستفرد singularity، singularité (الذي يتصف بالاستفرادية). ففي حال المستفرد هذا، يصبح التنبؤ بالمستقبل مستحيلاً، كما يتحول المستفرد، نتيجة الارتصاص الثقالي، إلى ثقب أسود black hole، trou noir (أو مضخة كونية ماصة)، ترتشف إلى جوفها (وبقوة هائلة) كل ما يحيط بها وبسرعة تقارب سرعة الضوء، بما في ذلك الضوء نفسه، الذي يفقد أي أمل في الخروج، كجحيم «دانتي» Alighieri Dante (1265-1321) في الكوميديا الإلهية The Divine Comedy، La Comédie Divine، حيث يقول ما ترجمته: «أنتم، يا من تدخلون هنا، عليكم أن تفقدوا أيّ أمل في الخروج». هذا، وسنعود إلى معالجة الثقوب السود في الفقرة الرابعة من الفصل الثالث.

لقد بينت معادلات «هوكنغ» [6] أنّ درجة حرارة الثقب الأسود وإشعاعه يتناسبان عكساً مع كتلته. وعندما يبلغ الثقب الأسود (المستفرد) حجماً لا نهائي الصغر، فإنّ قسماً منه يتوسع منتفخاً مليار مليار مليار مرة، في حين أنّ القسم المتبقي يعاني انفجاراً مماثلاً للانفجار الأعظم. وبمعنى آخر، فإنّ «هوكنغ» و«بنروز» عكسا نماذج «فريدمان» في ما يتعلق بالزمن، واشتقا من سيرورة تشكل المستفرد، وتحوله إلى ثقب أسود (الانسحاق الأعظم)، انفجاراً أعظم.

وأتى البرهان التجريبي (بإجراء القياسات) على تزايد قطر الكون نتيجة الدراسات التي أجراها الفلكي الأمريكي «إدوين هَبْل» [(1.7)]. فقبل عام 1924, كان يُعتقد أن مجرتنا (مجرة درب التبانة) هي المجرة الوحيدة في هذا الكون. بيد أنّ «هَبْل» (الذي كان ملاكماً من الوزن الثقيل، إنما درس القانون كوالده المحامي، ومن ثم علم الفلك في جامعة

(1.7) لقد تحقق حلم الفلكيين عام 1990 عندما أُطلق مقراب «هَبْل» (تكريماً لـ «إدوين هَبْل»)، ووضع في مسار يبعد 610 كيلومترات عن الأرض (وكانت المقاريب كلها، التي كانت تُستعمل قبل ذلك، توضع على مرتفعات أرضية، يؤثر فيها تشويشاً الغلاف الجوي). وبدءاً من عام 1993 (وبعد أن تم تصليح بعض أجزاء المقراب الخاصة بأجهزة انعكاس الضوء، وبث الصور)، أخذ المقراب يرسل صوراً مذهلة الجمال والروعة والدقة. وسنقتبس في هذا الكتاب بعضاً من هذه الصور الآخاذة.

شيكاغو)، اكتشف نجمين متغيرين دوريي التألق، يعرف الواحد منهما بالسيفيد cephied، cephiede (القيفوي) في أول مجرة حـددها، وتقع خـارج درب التبـانة، وتبعد عنا مليونين ونصف المليون من السـنين الضوئية (أي $2.5 \times 10^{6} \times 9.5 \times 10^{12} = 2.5 \times 10^{19}$ كيلو متر؛ إذ تبلغ السنة الضوئية: 60 ثانية ×60 دقيقة ×24 ساعة ×365 يوماً ×300 ألف كيلومتر في الثانية -سرعة الضوء- أي 9.5×10^{12} كيلو متر)، أي أنَّ هذه المجرة تبعد خمسة وعشرين مليار مليار كيلومتر. لقد عُرفت هذه المجرة باسم «المرأة المسلسلة» Andromeda، Andromede، وتشتمل على مئتي ألف نجم، ولها (كمجرتنا) بنية حلزونية، وتُعدّ أبعد مجرة يمكن رؤيتها بالعين المجردة. لقد بين «هَبْل» عام 1929 أنَّه كلما بعدت المجرة، كان توسع الخلاء بينها وبين المجرات الأخرى أكبر، وكان ابتعاد المجرة أسرع (ويمكن حساب ذلك بانزياح طيف الضوء من البنفسجي الأزرق إلى الأحمر. وكلما ازداد الضوء احمراراً، ازداد بعد المجرة التي يصدر عنها الإشعاع). أما واقع الأمر، فإن المجرات (كما عرضنا غير مرة) لا تبتعد بحركة فاعلة، بل تتباعد نتيجة تزايد قطر الكون نفسه، الذي ما زال يحدث بسبب قوة الانفجار الأعظم. ولهذا السبب، بدا لـ«هَبْل» أنَّ المجرات البعيدة، تندفع بعيداً عن مجرتنا بسرعة تتناسب مع بعدها عن هذه المجرة، فالأبعد ينأى بسرعة أكبر. وعُرفت نسبة السرعة الظاهرية لابتعاد المجرة إلى بعدها عن درب التبانة بنسبة «هَبْل» Hubble‘s ratio، rapport de Hubble. ولقد وضع «هَبْل» خريطة للكون ضمت أربعاً وعشرين مجرة (حيث اعتمد المسافة متحولاً والسرعة تابعاً)، فاكتشف خطاً مستقيماً، وضعه بصيغة قانون عرف بقانون «هَبْل» Hubble‘s Law، Loi de Hubble، يمكن استعماله لتقدير عمر الكون (انظر الفقرة 3 .1 .4 للاطلاع على صيغة قانون «هَبْل»). واستطاع «هَبْل» وفريقه أن يرصد عام 1935 مجرات تبعد عن مجرتنا مئة مليون سنة ضوئية (أي قرابة ألف مليار مليار، أو10^{21} كيلومتر). وتجدر الإشارة إلى أن الرياضيين الفلكيين يقدرون نصف قطر الكون بما يقارب 10^{24} كيلومتر، أي طول«بلانك» يليه اثنان وسـتون صفراً (يرجع إلى الحاشـية 1 .1).

2.3.1. الأشعة الثمالية

كما كنا عرضنا في الفقرة السابقة، فإنَّ أول من تنبأ (على نحو مثير ومذهل) بوجوب وجود الأشعة الثمالية residual ray، rayonnement residuelle (المتبقية) كنتيجة لحدوث الانفجـار الأعظم (أو ولادة الكون) هو الكاهن البلجيكي «جورج لومتر» عام 1923. وذلك بالإضافة إلى تنبئه بتوسع الكون. ومع أن نماذج « فريدمان » تتنبأ بأن الكون، كان في أصله على شـكل نقطة متناهية الكثافة، فإن «فريدمان» لم يتحدث عن وجود أشعة ثمالية كنتيجة لحدوث انفجار في هذه النقطة. بيد أنَّ «جورج غاموف» (الذي درس على « فريدمان » في لينينغراد سابقاً وسانت بترسبورغ حالياً، وهاجر إلى الولايات المتحدة عام 1933 وكان عمره آنذاك 29 عاماً، وعمل في إحدى جامعات واشنطن، العاصمة الفدرالية)، نشر عام 1948 بحثه الشهير: « ألفا بيتا غاما » بالتعاون مع تلميذه «رالف ألفر» و«هانز بيته» (الفيزيائي الألماني، الذي كان يزور نيويورك آنذاك، يرجع إلى الفقرة 1 .2). لقد تنبأت مقالة «ألفا بيتا غاما»، وعلى نحو مدهش (دون أن يكون لمؤلفيها الثلاثة علمٌ بأفكار «لومتر» التي نشرت عام 1923 في مجلة بلجيكية محلية مغمورة) بوجود الأشـعة الثمالية. كما أنَّ « لومتر» لم يكن على علم، وهذا مؤكد أكثر، بنماذج « فريدمان » بأن الأشعة الثمالية (كمومات كهرطيسية أو رزم فوتونية جُسيمية موجية، كبقية أي نوع من الإشعاع) لا بد أن تكون موجودة كأحد آثار الانفجار الأعظم (عندما كان الكون بالغ السخونة، وتبلغ درجة حرارته درجة حرارة بلانك، أي مئة ألف مليار مليار

مليار، أي 10^{32} درجة مطلقة أو كلفن)، وبأنَّ درجة حرارة هذه الأشعة الثمالية قريبة من الصفر المطلق (قرابة 270-271 درجة مئوية تحت الصفر، أو 2.728 + ثلاث مئة مكروكلفن[9.1]). كما أن «غاموف» وزميليه فســروا سبب وفرة الهليوم (25 في المئة تقريباً) في جــو المجــرات، والذي تشـكل من نوى الهدرجين (الــذي يشــكل 75 في المئة تقريباً من كتلة المجرات [8.1]) أن الهليوم الموجود في غلاف الأرض يُعدُّ (مع الفوتونات) من بين مستحاثات الانفجار الأعظم التي سنعرض لها في االفقرة 4.3.1

وكمــا كنــا ألمحنا في الفقرة الســـابقة، فلقد تم البرهــــان عام 1964 على نبوءة «لومتر»، ومن ثم نبوءة «غاموف» وزميليه بوجود الأشعة الثمالية المتبقية من إشعاع وحرارة الانفجار الأعظم (قبل ثلاثة عشر مليار عام تقريباً [9.1]) من قبل «أرنو بنزياس» و «روبرت ويلسون» من مختبرات شركة بل «Bell » في ولاية نيوجرزي، ومن قبل «روبرت ديك» و«جان بيبلز » من جامعة برنستون في الولاية نفسها. وبناء على المبررات التي نشرتها لجنة جائزة نوبل للفيزياء (التي منحت الجائزة عام 1978 لكل من "بنزياس» و «ويلسون»)، فإن اكتشاف هذين الباحثين للأشعة الثمالية سبق اكتشاف «ديك» و«بيبلز». كما أنَّ الأمر الأكثر أهمية هو أنَّ "بنزياس» و «ويلسون» هما اللذان أدركا أولاً علاقة اكتشافهما بالانفجار الأعظم.

(8.1) كما سنعرض إلى ذلك في الفقرة الرابعة من الفصل الثالث من هذا القسم (التطور الفيزيائي الفلكي)، فإن الشمس كمثال عن الكواكب الملتهبة، تمثل مفاعلاً نووياً هائلاً، تحول في كل ثانية 600 مليون طن من الهدرجين إلى هليوم. كما تحول في الثانية الواحدة 400 مليون طن من الهدرجين إلى طاقة (انظر، من أجل التفاصيل، الحاشية 1.4). ويرجع الفضل إلى « هانس ألبرخت بيته » في وضع سلسلة التفاعلات النووية الحرارية، وإيضاح آلية تحول الهدرجين إلى حرارة وإشعاع (أي إلى طاقة). إنَّ قسماً من الطاقة ينشأ من تحول الهدرجين الثقيل (الدوتريوم) إلى نواة هليوم أو جُسيم ألفا (التي تتألف من بروتونين ونترونين) وفقاً لمعادلة « أينشتاين » الأكثر شهرة والتي تربط بين الكتلة والطاقة، أي $E=mc^2$ حيث تمثل E الطاقة (energy، énergie)، و m الكتلة (mass، masse)، وc سرعة الضوء (celerity، célérité). إن جزءاً من حرارة الشمس وإشعاعها ينجمان عن تحول فرق الكتلة بين بروتونين ونترونين من جهة، وجُسيم ألفا من جهة أخرى. وبالتبسيط، فإنَّ كتلة بروتونين ونترونين $=6.688\times10^{-24}$ غرام، أو 4.03132 وحدة كتلة ذرية atomic mass unit -amu-، في حين أنَّ كتلة نواة الهليوم -جُسيم ألفا- $= 6.682\times10^{-24}$ غرام، أو 4.00260 وحدة كتلة ذرية. إنَّ فرق الكتلة يساوي 0.006×10^{-24} غرام، أو 0.02872 وحدة كتلة ذرية. إنَّ فرق الكتلة هذا يعادل، وفقاً لمعادلة «آينشتاين»، 26.7 مليون إلكترون فولط (ميفMeV). وبدهي أن هذا الرقم يجب أن يضاعف بعدد أفوغادرو Amedeo Di Quaregna Avogadro (1776-1856)، أي 6.03×10^{23} من أجل كل 22.4 لتراً من الهدرجين (أو ذرة هدرجين غازي في الشروط العادية، وليس في شروط جو الشمس). وتُعدُّ الشمس من الجيل الثاني (إن لم من تكن الجيل الثالث) للكواكب، وإنَّها ملتهبة منذ 4،56 مليار سنة، وتبقى لديها من الهدرجين ما يكفي لبقائها خمسة مليارات سنة أخرى، حيث تجابه عندئذ الاستموات(أي تطلب الموت)، فتنطفئ، متحولة إلى جثة هامدة. ولكن قبل أن ترتص على نفسها وتشكل ما يعرف بالقزم الأبيض، فإن الشمس، أو ما يماثلها من كواكب، تقذف بغلافها الخارجي (ملايين ملايين الأطنان) في الفضاء. وينهار باطن الكوكب بفعل قوة الثقالة، مرتصاً على نفســه، ويصبح أصغر حجماً (يصبح حجم الشمس بحجم الأرض)، إنما أكثف (أثقل) بملايين المرات. وكدليل على هذه الكثافة الهائلة للقزم الأبيض، فإن قطعة النقود تسقط على سطحه (منجذبة بفعل قوة الثقالة) بسرعة تقارب نصف سرعة الضوء (أي 000 150كيلومتر في الثانية)، إن لم يكن أسرع من ذلك. هذا، ويبلغ وزن السنتي متر المكعب الواحد من القزم الأبيض عشرات الأطنان.

9.I.De Bernardis, P.et al.,Nature **404**, 955-959 (2000)

(9.1) بالنظر إلى أنه يصعب قياس المسافات بين المجرات بدقة (أمر سنعالجه من جديد في الفصل الثالث من هذا الكتاب)، وعلى اعتبار أنَّ الكون في حالة توسع دائم، فلقد صعب، وحتى السنوات العشرين الفائتة، تقدير عمر دقيق للكون. ويُعتمد بصورة أساسية في هذا التقدير على نسبة (أو ثابتة تناسب) «هَبْل»، التي ســبق أن أشرنا إليها في هذه الفقرة، وهي النسبة بين السرعة الظاهرية لابتعاد المجرة إلى المسافة التي تبعدها عن درب التبانة. لقد عين «هَبْل» نفسه هذه النسبة بالقيمة 350، وعمر الكون (بناء على ذلك) ما بين مليار إلى مليارين عام. واتضح فيما بعد أن « هَبْل» ارتكب خطأً في عدم أخذه بالاعتبار كثافة الكون وتأثير الثقالة في لجم هذا التوسع (وفقاً لأحد نماذج فريدمان). وفي عام 1956 حُددت نسبة « هَبْل» بالقيمة 180 مما يتوافق مع عمر للكون قدره خمسة مليارات عام. ثم خفضت هذه النســبة إلى 50 وارتفع عمر الكون ←

ولكي نفهم العلاقة بين الأشعة وبين الانفجار الأعظم، علينا أن نتذكر (يرجع إلى الفقرة 1.3.1) أنّ الضوء هو فوتونـــات (رزم) كمومية، موجية جُســـيمية، ذات تواتر frequency، fréquence (عدد الموجات في الثانية) وطول موجة (المسافة بين ذروتين متتاليتين) متعاكسين. فكلما ازداد التواتر، قصر طول الموجة، والعكس بالعكس. وكذلك الحال في ما يتعلق بطاقة الفوتونات وشدة نفاذها من جهة، وطول الموجة من جهة أخرى. هذا، ويبلغ عدد تواتـرات الطيف المرئي الذي تراه العين البشرية (أي الألـــوان) ما بين 700 ألف مليار تواتر في الثانية للضوء البنفســـجي الأزرق أو بداية الطيف المرئي، و 400 ألف مليار تواتر في الثانية للضوء الأحمر أو نهاية الطيف المرئي. ويمكن الرجوع إلى الجدول 1.1 والحاشية 6.1 للوقوف على أنواع الإشعاع، وأطوال موجاته.

لنتصور أنّ جسماً ما (كوكباً) يصدر أشعة. فإذا ما اقترب الكوكب من الأرض، فإنّ الوقت الذي سيحتاجه الشعاع ليصل إلينا سيقصر(أي إنّ الزمن المنقضي بين وصول ذروتين متتاليتين سيكون أقصر)، فيقصر عندئذ طول الموجة، ويصبح بالتالي عدد التواترات أكبر وطاقة الفوتونات (الرزم الكمومية) أعلى، وينزاح طيف الأشعة باتجاه أشعة غاما، فالأشعة السينية، فالأشعة فوق البنفسجية، فالبنفسجية، فالضوء الأزرق في الطيف الذي تراه العين البشرية. أما إذا ابتعد الكوكب (مصدر الأشعة) عن الأرض، فإن الأمر المعاكس سيحدث: سيحتاج وصول ذروتي الموجة الواحدة للوصول إلينا زمناً أطول، فتصبح موجة الأشعة أطول، ويقل عدد التواترات، وتنخفض طاقة الفوتونات، وينزاح طيف الأشعة نحو الأحمر. وتجدر الإشارة بهذا الصدد إلى أنّ أول من تنبأ بانزياح الطيف نحو الأحمر هو الفلكي الهولندي « فيليم دي سيتر » Willem de Sitter (1872-1934) عام 1917 والذي درس أيضاً العلاقة بين النظرية النسبية وأصل الكون. ويعرف الفرق بين تواتر الضوء الصادر(المنبث)، وبين تواتر الضوء المدرك حسياً (الذي تلتقطه شبكية العين) والناجم عن حركة المنبع الضوئي (اقتراب أو ابتعاد الكوكب في هذا المثال)، أوحركة العاكس للضوء، أو حركة مســـتقبل أي موجة من الأمواج (بما في ذلك الأمواج الصوتية)، يعرف هذا الفرق بفعل «دوبلر فيزو» effect de Doppler-Fizeau,Doppler-Fizeau effect(10.1) ويمكن إيضاح الأمر بالانتباه إلى صوت محرك السيارة في وسط خالٍ ظاهرياً من الضجيج. فعندما تقترب السيارة من موقع الملاحظ، فإن الضجيج الحاد لصوت المحرك (التواترات الصوتية العالية أو الموجات الصوتية القصيرة) هو الذي يُسمع. وكلما ابتعدت

← في أواسط السبعينات إلى 12 مليار عام. بيد أن المعلومات والصور التي بثها مقراب « هَبْل »، وبالاعتماد على رصد المستعرات الفائقة؛ وعدد من السيفيدات؛ وعلى انفجارات الأقزام البيض؛ ورصد بعضها على بعد مليار سنة ضوئية (أي عشرة آلاف مليار مليار، أو 10^{22} كيلومتر، أو قرب حافة الكون)، جعل ذلك كله نسبة «هَبْل» تهبط إلى 45. ويمكن القول (بناء على تلك القياسات) إنّ الكون قد ولد قبل خمسة عشر مليار سنة. ولكن تبين مؤخراً (انظر الحاشية 1.3)، وبناء على تعيين أحدث لثابتة «هبل» (أو ثابتة تناسب «هبل») أنّ عمر الكون يقع ما بين 12 و 14 مليار عام، أي كما كان ظن تقريباً في أواسط السبعينات. وعلى الرغم من هذه الدراسة الحديثة، فقد يبقى عمـر الكون قابلاً للتعديل إنما ضمن مجـال ضيق.

(10.1) يمكن إيضاح فعل "دوبلر– فيزو" في ما يتعلق بالضوء بالمثال التالي [10]: نفترض أنّ ذروات موجات الضوء تصدر عن المنبع الضوئي بفترات منتظمة، تفصل بعضها عن بعض الفترة T. فإذا كان المنبع يتحرك بعيداً عن الراصد بسرعة قدرها V، فإنّ المنبع سيبتعد عندئذ خلال الزمن بين الذروات المتعاقبة المسافة VT , إنّ هذا سيؤدي إلى ازدياد الزمن اللازم لذروة الموجة كي تصل من المنبع إلى الراصد بالمقدار VT/c، حيث تمثل c سرعة الضوء. وهكذا، فإنّ الزمن المنقضي T´بين وصول ذروتي موجتين إلى الراصد يُعطي بالعلاقة:

$$T' = T \frac{VT}{c}$$

←

السيارة عن الملاحظ، انزاح الضجيج نحو التواترات الصوتية الأقل والموجات الأطول، فلا يُسمع عندئذ من ضجيج المحرك إلاّ الأجش، فالأجش. وهذا ما يحدث للأمواج الضوئية، قصيرها (أشعة غاما، والأشعة السينية)، وطويلها (الأشعة الصِغرية الميلي مترية والسنتي مترية والراديوية). وعوضاً عن حدة الضجيج وجياشته، فإن الضوء المرئي يتجه من اللون البنفسجي الأزرق إلى اللون الأحمر.

وتجدر الإشارة إلى أنّ طيف الضوء الوارد من مجرة المرأة المسلسلة (التي تبعد عن الأرض مليونين ونصف مليون سنة ضوئية، أي قرابة خمسة وعشرين مليار مليار كيلومتر، وتشتمل على قرابة مئتي ألف نجم)، يتجه نحو الأزرق (طول الموجة يساوي قرابة 400 نانومتر، ويبلغ عدد التواترات سبع مئة ألف مليار موجة في الثانية). إنّ هذا الطيف ينزاح نحو اللون الأحمر (يبلغ طول الموجة قرابة 700 نانومتر، ويساوي عدد التواترات أربع مئة ألف مليار موجة في الثانية) في ما يتعلق بالمجرات التي يزيد بعدها عن مجرتنا أكثر من خمسة ملايين سنة ضوئية. ويتزايد توهج هذا اللون احمراراً كلما تعاظم بعد المجرة عن الأرض (انظر الشكل 1، 5)[7].

← فإذا كان طول موجة الضوء عند صدورها عن المنبع هو: ($\lambda = cT$)، وإذا كان طول موجة الضوء عند وصولها إلى الراصد هو: $\lambda' = cT'$، فإنّ نسبة طولي هاتين الموجتين يصبح عندئذ:

$$\lambda'/\lambda\ (= T'/T = 1+\frac{V}{c}$$

ويمكن استعمال المحاكمة نفسها في حال أن المصدر يتحرك بعيداً عن الراصد، حيث يتم استبدال $-V$ بـ V (وتنطبق هذه المحاكمة على الحركة الموجية كلها، بما في ذلك الصوت).

يمكن الآن تطبيق هذه المعادلة على برج العذراء Virgo، أو تعنقد مجرات العذراء،(أقرب تعنقدات المجرات إلى مجرتنا)، ويحوي بضعة آلاف مجرة، ويبعد عنا 40 مليون سنة ضوئية (أو أربع مئة مليار مليار أو 4×10^{20} كيلومتر). فإذا كان هذا التعنقد يبتعد عن مجرتنا بسرعة قدرها ألف كيلومتر في الثانية (تبلغ سرعة الضوء ثلاث مئة ألف كيلومتر في الثانية)، فإن طول موجة الضوء λ'لأي خط من خطوط طيف الضوء الآتي من تعنقد برج العذراء سيكون (عندما يصل إلينا) أطول من قيمته السوية)بالنسبة التالية:

$$\lambda'/\lambda = 1+\frac{1000\ \text{km/sec}}{300\,000\ \text{km/sec}} = 1.0033$$

ولقد أمكن، باستعمال هذه النسبة، حساب مقدار انزياح طيف الضوء من الأحمر إلى البنفسجي ـ الأزرق في حال اقتراب المصدر من الراصد، وانزياح طيف الضوء من البنفسجي الأزرق إلى الأحمر في حال ابتعاد المصدر عن الراصد، وهذه الحالة هي الأكثر شيوعاً في الفيزياء الفلكية بسبب تباعد المجرات بعضها عن بعض. كما أمكن، باستعمال فعل "دوبلر-فيزو"، ونسبة "هبل"، وقانون "هبل" (يرجع إلى الفقرة 1.3.1)، حساب أبعاد المجرات والمسافات التي تفصل بعضها عن بعض ونصف قطر الكون، وعمر الكون أيضاً.

وتجدر الإشارة إلى أن الفيزيائي النمساوي "كريستيان دوبلر" Christian Doppler (1803- 1853) درس تفاوت شدة الصوت عند تحرك مصدره، مقترباً أو مبتعداً عن الراصد، واستنبط (في ما يتعلق بالصوت) الفعل الذي سمي باسمه. أما الفيزيائي الفرنسي "هيبوليت فيزو" Hippolyte Fizeau (1819-1896)، فلقد أجرى أول قياس مباشر لسرعة الضوء (كان قد قدر هذه السرعة تقديراً تقريبياً وغير مباشر الفلكي الدنمركي " أولاوس رومر" Olaüs Römer -1644-1710- بملاحظته انخساف كوكب المشتري). كما أن "فيزو" نقل لأول مرة فعل "دوبلر" إلى الضوء والبصريات.

10. Weibnberg, **" The First Three Minutes, A Modern Veiw of the Origin of the Universe"**. BasicBooks, A Division of01 Hrper Collins Publishers, NewYor (1993).

3.3.1. تبرد الكون

كما كنا ذكرنا في الفقرة 2.1 من هذا الفصل وفي الفقرتين 1.3.1 و2.3.1 فإنَّ نماذج « فريدمان » لأصل الكون (نتيجة معالجته أو قراءته الصحيحة لمعادلات النسبية العامة) ونبوءة « لومتر» وبعد ذلك «غاموف»، وكذلك فرضية «هوكنغ» و«بنروز» عن الثقوب السود، تستوجب كلها أن يكون الكون قد ولد (إثر حدوث الانفجار الأعظم) نتيجة توسع هائل في جزء (فقاعة) من كتلة وركام كمومي (يتألفان من جُسيمات غريبة غير مألوفة وجُسيمات مضادة، تتولد وتتفانى باستمرار). وكان الحجم لا نهائي الصغر وهائل الكثافة والسخونة. وبعد أن توسعت الفقاعة الانتفاخية أكثر من مليار مليار مرة، انفجر الجزء المتبقي والفائض وغير المتوسع من الكتلة والركام الكمومي انفجاراً هائلاً أخر، إنما أبطأ سرعة وأقل شدة من الانفجار الأول، فرفع حرارة الخلاء مفرط البرودة إلى درجة تقل عن درجة حرارة بلانك (أي أقل من مئة ألف مليار مليار، أي 10^{32} درجة مطلقة). ومنذ تلك اللحظة، بدأ الكون بالتبرد إلى أن وصل حالياً إلى 2.728 ± 300 جزء من مليون جزء من الكلفن أو الدرجة المطلقة (يرجع إلى الحاشية 3). وكما كنا أشرنا، فإنَّ ذرات المادة تتوقف عن الحركة في الصفر المطلق (أو صفر كلفن)، وتصبح الجملة مجردة من أي طاقة حرارية. هذا، وسنعرض فيما يلي إلى الأدلة النظرية، ثم إلى القياسات التجريبية التي تبرهن على صحة فرضية تبرد الكون.

فوفقاً لحسابات «هوكنغ» (انطلاقاً من نماذج « فريدمان »)، فإنَّ درجة حرارة ثقب أسود ما، تفوق كتلته عدة أضعاف كتلة الشمس، يجب أن تكون منخفضة جداً، إنما فوق الصفر المطلق بقليل، وتساوي جزءاً من عشرة ملايين جزء من الدرجة المطلقة الأولى فوق الصفر المطلق. بيد أن الكون سيحتاج إلى زمن بالسنوات يبلغ رقم عشرة متبوعاً بستة وستين صفراً (أي ألف مليار مليار مليار مليار مليار عام) كي يصل إلى تلك الدرجة، ويبدأ بالتبخر. وبالنظر إلى أنَّه مضى على ولادة الكون حتى الآن ثلاثة عشر مليار سنة تقريباً، وعلى اعتبار أنَّ وقود الشمس من الهدرجين يكفي فقط خمسة مليارات سنة أخرى (تحول الشمس في الثانية الواحدة ألف مليون أو مليار طن من الهدرجين إلى هليوم)، فإن الحياة على سطح كوكب الأرض ستندثر والكون لا يزال شاباً في مطلع عشرينات عمره. وكما كنا عرضنا في الفقرة 1.3.1 فإنَّ «هوكنغ» و «بنروز» عكسا نماذج « فريدمان » في ما يتعلق بالزمن، واشتقا من سيرورة تشكل المستفرد وتحوله إلى ثقب أسود (انسحاق أعظم)، انفجاراً أعظم.

ولم تأتِ الأدلة على تبرد الكون من الفيزياء الفلكية النظرية فحسب، وإنما من الفيزياء التقليدية أيضاً. فكلما ازداد حجم الكون (نتيجة التوسع الانتفاخي) مرة واحدة، هبطت درجة حرارته إلى النصف. وبدهي أن ترتبط (في مثل هذه الظروف) طبيعة المادة بدرجة حرارة الجملة. ففي درجات من الحرارة مفرطة الارتفاع، تتحرك الجُسيمات العنصرية بسرعة، تحررها من القوى الكهرطيسية والنووية، وتخضع كلياً للجاذبية ولفعلي الأنتروبية والشوش، وتعجز عن التجمع، وتتفانى ومضاداتها. وعلى ما يبدو، ففي نهاية الثانية الأولى من ولادة الكون وحدوث الانفجار الأعظم، وبعد أن توسع الكون قرابة مليار مليار مليار مرة، وهبطت درجة حرارته إلى عشرة مليارات درجة مطلقة أو كلفن (أكثر ألف مرة من درجة حرارة جوف الشمس، وتعادل هذه الدرجة -أي عشرة مليارات- درجة حرارة انفجار القنبلة الهدرجينية)، ظل الكون يتألف من بلازما، تنصهر فيها الغليونات والكواركات والإلكترونات ومواد الجُسيمات العنصرية المختلفة للكون الوليد. وكما سنرى في القسم الثاني من هذا الكتاب (التطور الفيزيائي الكيميائي)، فبعد أن أصبح عمر الكون قرابة مئة ثانية، وبعد أن تبردت سخونته لتصبح مليار درجة، لم تعد طاقة الجملة تكفي لتحرر البروتونات والنترونات من فعل القوة

النووية الشديدة، وأخذ الشوش (اللاانتظام والعشوائية) بالانتظام، والأنتروبية بالتناقص (من حيث تضاؤل الفوضى)، فارتبط بروتون بنترون ونشأ الهدرجين الثقيل، أو الدوتِريوم deuterium.، ثم انضم هدرجينان ثقيلان بعضاً لبعض، فنشأت نواة الهليوم (جُسيم ألفا)، فالليتيوم والبريليوم و الكربون . . . . وكما سنعرض لاحقاً في هذا القسم من الفقرة، فإنَّ تفسير الوفرة التي يوجد فيها الهليوم في الكون لا يستقيم إلا إذا أخذنا هذه التفاعلات النووية (في هذه الدرجة من الحرارة) بالحسبان.

أمَّا من الناحية التجربية، فإنَّ القياسات التي قام بها مقراب «هَبْل» والساتل المعروف بـ«مستكشف الخلفية الكونية» Cosmic Background Explorer، و«المقياس الضوئي الطيفي المطلق للأشعة تحت الحمراء البعيدة» Far infrared Absolute Spectrophotometer، و«مقياس إشعاع الموجات الصِغرية (المكروية) التفاضلي» Differential Microwave Radiometer، برهنت كلها بحساسية ودقة فائقتين على تبرد الكون. فلقد برهنت قياسات مقراب «هَبْل» على أنَّ درجة حرارة مجرة تبعد عن الأرض اثنا عشر مليار سنة ضوئية (أي قرابة عشرة آلاف مليار مليار كيلومتر، أي أقل من نصف قطر الكون بمئة مرة، وتقع هذه المجرة على أطراف الكون تقريباً، وتُعدُّ أبعد مجرة عن الأرض يمكن رصد الضوء الوارد منها)، تبلغ 6،7 كلفن أو درجة مطلقة. ويمكن البرهان على أنَّ درجة حرارة الضوء المرتحل من هذه المجرة تهبط (أثناء سفر الضوء إلينا) مقدار 9،4 كلفن[8] درجة تتوافق إلى حد بعيد مع ما تنبأت به الدراسات النظرية (النسبية العامة وغيرها).

أما المقياس الضوئي الطيفي المطلق للأشعة تحت الحمراء البعيدة المحمول على الساتل COBE، فلقد قاس طيف الإشعاع الثمالي، واتضح أن درجة حرارة هذا الطيف تبلغ 2.728 كلفِن، درجة تتوافق تماماً مع حدث مشع كالانفجار الأعظم. كما أمكن (بناءً على هذه المعطيات) التي بثها مقياس إشعاع الموجات الصِغرية (المكروية) التفاضلي والمحمول أيضاً على الساتل COBE، وضع خريطة «للكون» (الشكل 5.1)، يتحول فيها الطيف تدريجياً من البنفسجي الأزرق القاتم إلى الوردي.



الشكل 5.1 (الشرح في الصفحة التالية)

←الشكل 1 . 5 . خريطة بالأمواج الصغرية (المِكروية) لكامل السماء ، صَوَّرها الساتل COBE ، تظهر التحول من الأشـعة ذات اللون الأزرق (الأقرب إلى الأرض) إلى الأشعة ذات اللون الوردي (الأبعد عن الأرض) وفقاً لفعل «دوبلر ـ فيزو» (انظر الفقرة 1 . 3 . 2 . والحاشية 1 . 10) . فكلما ابتعدت المجرة عنا وصلت إلينا من الضوء الصادر عنها الأمواج الأكثر طولاً أو الأقل تواتراً (الشكل عن Fraser et al,1998 المرجع 7 ، ص . 135) .



الشكل 1 . 6 . خريطة الكون كما تم استنتاجها من الصور التي بثها الساتل COBE . تمثل هذه الخريطة تغايرات في درجة حرارة جزر الكون (المجرات) بتقريب قدره ±300 مِكروكلِفن . وتبلغ درجة حرارة هذه الجزر 2.728 كلفِن أو درجة مطلقة 300 مكروكلِفن . كما تمثل هذه الخريطة فروقاً في كثافة مادة الكون (الجزر الكونية) تبلغ جزءاً من مئة ألف جزء (الشكل عن Fraser et al,1998 ، المرجع 7 ، ص . 136 ـ 137) .

ولقد تمثل الإنجاز الخارق للساتلين COBE, و BOOMERANG برصدهما في عامي 1992 و 1999 على التوالي بقعاً غير متجانسة من تجمعات حارة (الشكل 1 . 6اللون الأحمر)، وتجمعات باردة (اللون الأزرق)، بفروق في درجة الحرارة تقارب ثلاث مئة جزء من مليون جزء من الدرجة، وبفروق في الكثافة البدئية تبلغ جزءاً من 000 100 جزء . ولقد نجمت هذه التجمعات متغايرة الاتساع والكثافة عن فعل الثقالة، عندما نُثرت بذور بداية الكون . وعلى ما يبدو ، فإنَّ «نيوتن» كان قد أشار (قبل ثلاث مئة عام) إلى أنَّ نثر المادة في الفضاء يؤدي إلى تكتل بعضها في كتل يتعاظم حجمها تدريجياً، وتتبعثر في الفضاء اللانهائي لتشكل الكواكب «المستقرة »، بما في ذلك المنظومة الشمسية .

واقتبس «جورج سموت» George Smoot (يرجع إلى المقدمة، والذي تعاون مع «جان ماثر» John Mather مصمم الساتل COBE) في أثناء عرضه للتباينات الكونية في درجات الحرارة أمام الجمعية الفيزيائية الأمريكية في واشنطن عام 1999قولاً شائعاً : «إذا كنت متديناً، فكأنك ترى وجه الله» . ولقد عبر «ستيفن هوكِنغ» عن مدى أهمية اكتشاف هذه التغايرات الحرارية الكونية الثقالية بقوله : « يُعدُّ هذا الاكتشاف العلمي اكتشاف القرن العشرين، إن لم يكن الاكتشاف الأعظم في تاريخ العلم كله » . ولقد تم التأكد من هذا الاكتشاف المذهل حقاً بقياس آخر لهذه التغايرات في درجة الحرارة المفرطة في ضآلتها، سجله بالون أطلقته وكالة الفضاء الأمريكية، ووصل إلى ارتفاع أربعين كيلو متراً فقط

(يدور الساتل COBE عادة على ارتفاع قدره 900 كيلومتر عن سطح الأرض). وعلى الرغم من الفرق الكبير في ارتفاعي البالون والساتل، فإنّ حساسية قياسات البالون فاقت خمساً وعشرين مرة دقة قياسات الساتل COBE. ولقد أمكن وضع خريطة لدرجات حرارة الكون تتوافق تماماً مع الخريطة التي رُسمت نتيجة قياسات الساتل COBE.

1 .3 .4. بقايا الفوتونات والهليوم

تتمثل الفوتونات بالإشعاع الذي هو ظاهرة مزدوجة الطبيعة موجية جُسيمية، تتألف من ذبذبات حقول كهربائية مغنطيسية (كهرطيسية). والفوتونات هي حوامل أو رسل messengers، messagers القوة الكهرطيسية، ويمكن الكشف عنها نتيجة الفاعلية النووية لبعض العناصر المشعة أثناء سيرورة استقرارها بإصدارها جُسيمات بيتا [1.11] التي اكتشف نشاطها الإشعاعي «إنريكو فيرمي» (انظر الحاشية 1 .15). والفوتونات، كحاملات (رسل) القوة الكهرطيسية، لا وزن لها ظاهرياً، تتذبذب ذهاباً وإياباً بين قطبين كهربائيين. ولقد تبين أنّ الفضاء يحوي فوتونات تهيم فيه، وتعتبر في غالبيتها العظمى بقايا أثرية أو شواهد مستحاثية على ولادة الكون، حيث نشأت غالبية هذه الفوتونات نتيجة حدوث الانفجار الأعظم. أما أصل القلة المتبقية من الفوتونات، فيعود إلى الكواكب الملتهبة التي تصدر الإشعاع.

ونظراً لوجود علاقة رياضية بسيطة بين درجة الحرارة وبين عدد الفوتونات في حيز معين، فلقد أمكن حساب عدد هذه الفوتونات في متر مكعب من الفضاء الذي تبلغ درجة حرارته 2.728 كلفن (أو درجة مطلقة)، فوجد أنّ المتر المكعب الواحد يحوي ما يزيد على أربع مئة مليون فوتون[8] (أو 403×10^6 فوتون)، يجوس معظمها (أو مايقارب 4×10^6 فوتون بالمتر المكعب) الفضاء منذ 13 مليار عام تقريباً، عند ولادة الكون. أضف إلى ذلك أنّ الدراسات التي أُجريت بوساطة منظار الطيف (المطياف) spectroscope، كشفت عن فوتونات تصدر عن ذرات حديد توجد في مجرة يبلغ عمرها 12 مليار عام. وبدهي أن عمر هذه الفوتونات هو عمر هذه المجرة، ذلك أن تشكل ذرات الحديد ينهي في الكواكب (وعلى نحو مفاجئ) سلسلة تفاعلات الاندماج النووي، حيث تُعدُّ ذرة الحديد أشد الذرات استقراراً. وكما كنا عرضنا في ما سبق (يرجع إلى الفقرة 1 .3 .3)، فإنّ سلسلة الاندماج النووي المولد للطاقة (بسبب فرق الكتلة وفقاً لمعادلة «آينشتاين» الشهيرة)، وكما يحدث في الشمس أثناء تحول الهدرجين الثقيل أو الدوتريوم إلى هليوم (يرجع إلى الحاشية 1 .8)، تبدأ باندماج نواتي الهدرجين الثقيل (بروتون ونترون)، لتعطي نوى الهليوم، فالليتيوم، فالبريليوم، ثم نوى الكربون (أو من نواة الهليوم إلى نواة الكربون باندماج أربع نوى هليوم). ثم تُصهر نوى من الكربون (وربما من نوى الهليوم)، لتعطي نوى النيون، والأكسجين، فالسيليسيوم (السيليكون) المتزايدة الثقل.

(1 .11) كما سنعرض لهذا الموضوع لاحقاً، فإن النترون (في نوى العناصر غير المستقرة، أو ما يعرف بالنظائر المشعةradioactive isotopes، isotopes radioactifs) يتحول إلى بروتون، ويطلق في أثناء سيرورة استقرار النواة (أي هبوطها من مستوى طاقي أعلى إلى مستوى طاقي أدنى) جُسيماً يعرف بجُسيم بيتا beta particle، particule de beta، له شحنة الإلكترون، ويُعدُّ مظهراً أساسياً للقوة النووية الضعيفة (كما تطلق النواة أثناء سيرورة الاستقرار هذه أشعة غاما- يرجع إلى الحاشية 1، 6). وبتبسيط شديد، يمكن القول أنّ جُسيم بيتا هذا يصطدم بأحد إلكترونات الذرات المحيطة بالنواة، فيكسبه طاقته التي ترفعه إلى مستوى طاقي أعلى. بيد أن قوة جذب النواة تعيد الإلكترون إلى مداره، فيحرر الطاقة التي كان قد اكتسبها على شكل فوتون يمكن الكشف عنه بإرجاع إيونات الفضة في بروم الفضة إلى فضة معدنية، تترسب في كل نقطة يحدث فيها هذا التلاشي الإشعاعي radioactive decay، désintégration radioactive. وتُضخم عادة هذه النقاط (لتصبح مرئية على شكل راسب أسود من الفضة المعدنية) بمعالجة تعرف بالنماء development، developpment، حيث تعمل كل نقطة (كأول بلورة في عملية التبلور) كنواة، ترجع حولها مليارات إيونات الفضة. وهذا هو أساس تقنية التصوير الإشعاعي الذاتي autoradiography، autoradiographie المستعملة على نطاق واسع في البيولوجيا. وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن لإلكترون الذرة أن يمتص فوتوناً خارجياً، فيرتفع هذا الإلكترون المُثار ذو الطاقة الأعلى إلى مدار أبعد عن النواة. بيد أن جذب النواة يعيد الإلكترون إلى مداره الأصلي، محرراً الفوتون الكمومي المكتسب. كما يمكن لجُسيم بيتا (في تلاشي بيتا الموجب) أن يكون على شكل بوزيترون (أي موجب الشحنة)، وذلك نتيجة تحول البروتون إلى نترون.

وتنتهي سلسلة الاندماجات النووية بانصهار نوى السيليسيوم، لتعطي الحديد الذي يستقر تدريجياً، ويختتم (بسبب ثبات نواته) السلسلة، ويصدر في أثناء استقراره وتبرده هذه الفوتونات المستحاثية.

وتجدر الإشارة في هذا السـياق إلى أنه على الرغم من وجود هذه الفوتونات المستحاثية وبهذا التركيز (4 مليون في المتر المكعب من الفضاء)، فإن السماء تبدو في الليل، وبالتأكيد يبدو الفضاء خارج حدود المنظومة الشمسية (وعلى نحو مستديم) أسود، ومفرط العتامة. ويُفسر هذا السواد بأمرين اثنين: الأول منهما أن حدوث الانفجـار الأعظم لم يولـد عدداً من الفوتونات تكفي لإنارة الكون هائل الأبعاد (يبلغ نصف قطر الكون قرابة مليون مليار مليار، أي 10^{24} كيلو متر) بسبب الانتفاخ الشديد الذي عانى منه في بدء البداية، وبسبب التوسع المنفعل الذي يعانيه باستمرار. أما السبب الثاني لعتامة السماء ليلاً، والفضاء دائماً، فيشتمل بدوره على شقين اثنين. فمدة 12 مليارعام (بدء تشكل المجرات والكواكب) هي مدة غير كافية لإنارة فضاء الكون من قبل هذه المجرات وهذه الكواكب. أضف إلى ذلك، أنّ عدداً من الكواكب يختفي (كما سنعرض إلى ذلك في الفقرة الرابعة من الفصل الثالث) على شكل ثقوب سـود (إذا كان حجم الكوكب يبلغ على الأقل 1.44 حجم الشمس- انظر حد «شندراسيخار» في الفقرة 3.1)، أو ينطفئ ليتحول إلى جثث هامدة، تعرف بالأقزام البيض التي هي شواهد قبور كواكب المجرات. ويمكن، في أثناء اختفاء الثقوب السود، أن تتشكل كواكب جديدة، كالشمس مثلاً التي تُعد من الجيل الثاني من الكواكب، إن لم تكن من الجيل الثالث. فعمر الكواكب القصير نسبياً من جهة، وقلة عددها وضآلة توهجها (بالنسبة لأبعاد الكون) من جهة أخرى، يشكلان السـبب الثاني لسـيادة هذا الظلام.

في إثر ولادة الكون (حدوث الانفجار الأعظم) بدقيقة واحدة، أصبح الكون مؤلفاً، في ثلاثة أرباع حجمه، من الهدرجين، في حين أن ربعه الباقي يتألف من الهليوم، المادة الكونية المستحاثية الثانية. أمَّا جو الأرض، فلا يحوي إلا أثاراً من الهليوم. ولقد اكتُشف هذا الغاز في جو الشمس عام 1868 من قبل الفيزيائي الفلكي الفرنسي «جول جانسن» Jules Janssen (1824-1907)، وأعطاه هذا الاسم اشتقاقاً من اليونانية helios، وتعني الشمس. وتتألف نواته (جُسيم ألفا) من بروتونين ونترونين. ولقد تبين حسابياً (وفقاً لنموذج الانفجار الأعظم الساخن) أن نصف البروتونات والنترونات تقريباً قد تحول إلى نوى هليوم، وتبقت كمية قليلة من الهدرجين الثقيل، وبقية العناصر الأخرى في سلسلة الاندماج النووي المشار إليها آنفاً. أمَّا معظم النترونات، فتحولت (بفقدان جُسيمات بيتا) إلى هدرجين غازي. ويفسر معظم الباحثين وجود هذه النسبة العالية من الهليوم المستحاثي في أجواء الفضاء بالاستقرار الشديد لنواة الهليوم، التي يرتبط فيها البروتونان والنترونان بقوة نووية مفرطة الشدة. ويُعد هذا الارتباط النووي الشديد السـبب الأساسي لنجاة قسـم من نوى الهليوم (بعد الثانية ستين من حدوث الانفجار الأعظم) من سـلسـلة الانـدماج النووي، وتملصها من الانصهار (بسبب تبرد حرارة الكون)، لتتحول كل أربع نوى منها، كما حدث لأخواتها، إلى نواة كربون، وتبقت لتصطاد (في إثـر انقضاء ثلاث مئة ألف سـنة على ولادة الكـون) إلكتروناتها، وتنشئ الهليـوم الغـازي الـذي يملأ ربـع حجـم الكـون.

4.1. التسلسل الزمني لأحداث الانفجار الأعظم

كما كنا عرضنا غير مرة، فقد وُلد الكون، نتيجة انفجار هائل في نقطة لانهائية الصغر وذات كثافة لا نهائية الكبر والسخونة، من ركام كمومي cumulus quantus، يتألف من جُسيمات غريبة غير مألوفة exotique exotic، وجُسيمات غريبة أخرى مضادة، تتولد وتتفانى باستمرار. وكانت القوى الطبيعية الأربع موحدة في قوة واحدة كبرى معطلة الفعل، وذات بنية غشائية حويصلية وترية. وفي إثر حدوث الانفجار، انفصلت فقاعات انتفاخية كمومية، توسعت إحداها توسعاً هائلاً، فوُلد الكون ووُلد معه الزمن والمكان، في خلاء فائق البرودة والتناظر. أمَّا الفائض الكمومي المتبقي (في إثر انفصال الفقاعات الكمومية)، فعانى انفجاراً هائلاً آخر (إنما أبطأ وأضعف)، سخن الخلاء فائق التناظر والتبرد إلى درجة تقل عن درجة حرارة «بلانك» (أي أقل من مئة ألف مليار مليار مليار، أي أقل من 10^{32} درجة مطلقة أو كلفن).

هذا، ويمكن تلخيص التسلسل الزمني chronology، chronologie لأحداث ولادة الكون على النحو التالي:

أولاً. في اللحظة التي تعادل جزءاً من عشرة ملايين مليار مليار مليار (أي 10^{-43}) من الثانية الأولى لولادة الكون، حدث الانفجار الأعظم في نقطة الركام الكمومي المشار إليها آنفاً، التي يقل قطرها عن طول «بلانك». وكان الهياج الحراري في هذا الانفجار على درجة من الشدة بحيث لا يسمح بأي نشوء مادي واضح. كانت شدة هذا الهياج تكفي لتفارق أي ترابط جُسيمي يمكن أن يحدث. وكانت شدة الحرارة والإشعاع تلتهم كل تشكل بنيوي قد ينشأ. وتمثل الحدث الأساسي (الذي نجم عن هذا الاهتياج الحراري العنيف) بولادة الثقالة، القوة الأولى من القوى الأربع للطبيعة التي سنعرض لها في الفصل الثاني، والتي كانت (حتى لحظة الانفجار) موحدة في قوة كبرى واحدة متفانية الفعل، وذات بنية غشائية حويصلية وترية.

ثانياً. في إثر فترة مخاض وجيزة جداً (تقل عشرة مليارات جزء عن اللحظة الأولى المشار إليها آنفاً)، هبطت درجة حرارة الكون الآخذ بالولادة إلى درجة حرارة «بلانك»، وأخذ الركام الكمومي شكل نقطة يبلغ قطرها عشرة أضعاف طول «بلانك» (12.1)، إذ يبلغ طول هذا القطر جزءاً من مئة ألف مليار مليار مليار (أي 10^{-32}) من السنتي متر (يبلغ طول «بلانك» جزءاً من مليون مليار مليار مليار أي 10^{-33} من السنتي متر). أما الحدث الأساسي ذو المغزى والذي نجم عن هذا المخاض، فتمثل بولادة المكان والزمن (معلمي الكون الرئيسين) اللذين يُعالجـــان (بفضل نظرية النسبية العامة) كأي معلم فيزيائي آخر (كالكتلة، ودرجة الحرارة، والتسارع . . .).

(12.1) يُعدُّ «ماكس كارل إرنست لودفيغ بلانك» Max Karl Ernst Ludwig Planck عملاقاً متفرداً في تاريخ الفيزياء. وُلد في كيل Kiel بألمانيا عام 1858, وعمل كأستاذ الفيزياء في جامعة برلين مدة طويلة. ويمكن أن نشير إلى قلة من إنجازاته العلمية الهائلة التي كانت المحرك الرئيس لتقدم الفيزياء منذ مطلع هذا القرن: نظرية الكموم (الضوء رزم كمومية جُسيمية موجية مزدوجة البنية)، وثابتة «بلانك» (النسبة بين طاقة الرزم الكمومية الفوتونات والتواتر)، وطاقة «بلانك»، وحرارة «بلانك»، وطول «بلانك». كما أنه تنبأ منذ عام 1907 بوجود الطاقة النووية. حاز على جائزة نوبل للفيزياء عام 1918 (وكان « آينشتاين » قد رشح لنيل هذه الجائزة غير مرة، إحداها عام 1918, ولم يحصل عليها إلاَّ في عام 1921, حيث دعم «بلانك» ترشيحه لهذه الجائزة). يُعدُّ معهد « ماكس بلانك » (الذي أُنشئ في ألمانيا تكريماً لهذه الشخصية القديسية، كما وصفه « آينشتاين ») من المعاهد القيادية العالمية في الأبحاث الأساسية، مركزه الرئيس في مدينة « توبنغن » Tobengen، وله فروع في مدن ألمانية عديدة. ولكن على الرغم من هذا التاريخ العلمي الباهر (الذي قل مثيله في تاريخ العلوم)، فإن « بلانك » عاش حياة شخصية مأساوية الفصول: قُتل ابنه البكر في الحرب العالمية الأولى. توفيت ابنتاه في آن واحد تقريباً في إثر زواجهما بفترة وجيزة، وأُعدم ابنه الثاني عام 1944 نتيجة اشتراكه في محاولة اغتيال هتلر الشهيرة. وقد تكون هذه الكوارث وراء مسحة الحزن التي كانت ترتسم دائماً على وجهه. توفي في برلين عام 1947. وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن بسهولة اشتقاق درجة حرارة «بلانك» (10^{32} كلفن) من طاقة «بلانك» التي تساوي 10^{28} إلكترون فولط، وذلك إذا علمنا أنَّ كل إلكترون فولط يعادل تقريباً 10^{4} كلفن (أي مقلوب ثابتة «بولتزمان» التي تساوي 0.00008617 كلفن).

لقد تألفت نقطة الركام الكمومي في هذه المرحلة من جُسيمات غريبة غير مألوفة، ومن أضداد هذه الجُسيمات التي لم يعرف (ولن يعرف) تاريخ الكون لها مثيلاً. وكانت هذه الجُسيمات الغريبة وأضدادها تنشأ بدءاً من طاقة هذا الركام الكمومي، وتتفانى آنياً. وكان عمر الكون في هذه المرحلة يساوي جزءاً من مئة مليون مليار مليار مليار أي 10^{-35} من الثانية، حيث انخفضت درجة حرارة الكون إلى ألف مليار مليار مليار درجة مطلقة (أو 10^{30} كلفن). في هذه اللحظة، وفي أثناء مخاض ولادة القوة النووية الشديدة (إحدى القوى الطبيعية الأربع)، انفصلت عن الركام الكمومي فقاعات كمومية (بتحول طوري خاص، انظر الفقرة 2 . 1)، وتسربت إلى الخلاء (المتناظر تناظراً فائقاً) المحيط بهذا الركام وذي البرودة الفائقة. فأمسكت عندئذ قوة الانتفاخ الهائلة بإحدى هذه الفقاعات، فانتفخت بسرعة مفرطة (تفوق سرعة الضوء) مليار مليار مرة، وأصبح حجمها مساوياً حجم كرة المضرب. ولضرورة الحفاظ على التناظر (التجانس) الفائق للخلاء، تحول جزء من طاقة الركام الكمومي إلى مزيد من الجُسيمات الغريبة غير المألوفة والجُسيمات المضادة.

ثالثاً. في اللحظة التي أصبح فيها عمر الكون مساوياً جزءاً من مئة ألف مليار مليار أي 10^{-32} من الثانية الأولى، تجدد الانفجار ثانية في القسم الفائض من الركام الكمومي، إنما بشدة أضعف وبسرعة أبطأ من الانفجار الأول، ليسخن الانتفاخ (الآخذ بالتوقف) والخلاء المحيط (الفائق التبرد) تسخيناً مفرطاً. ولكن في إثر انخفاض درجة حرارة الكون إلى عشرة ملايين مليار مليار (أي10^{25}) درجة مطلقة أو كلفن)، وبفعل القوة النووية الشديدة، وبدرجة أقل، فعل الثقالة، تحول جزء من الجُسيمات الغريبة غير المألوفة لثمالة الركام الكمومي إلى كواركات quarks[13.1]، ولبتونات[14.1].

(13.1) لقد استعيرت كلمة كوارك (الغريبة التركيب والغامضة الأصل والمعنى) من إحدى روايات جيمس جويس James Joyce (1882-1941) من قبل الفيزيائي « موري غيل مان » Murray Gell-Mann (1929)، الذي نال عام 1969 جائزة نوبل في الفيزياء. وتمثل الكواركات البنى الأساسية للنواة (التي سنعرض لها لاحقاً). وعلى اعتبار أن شحنة الإلكترون تساوي -1 (وهي الشحنة المعيارية في ميكانيك الكم)، فإن للكواركات شحناً كسرية (أي أقل من واحد)، ولبعضها شحنة كسرية سلبية. ولقد أُعطيت الكواركات أسماء وخواص صنعية غريبة، كغرابة الاسم نفسه. ويوجد منها في الطبيعة على الأقل ستة أنواع (الشكل 7.1). وأخفها الكوارك الفوقي u(up) وتساوي شحنته 2/3 من شحنة الإلكترون. والكوارك التحتي d(down)، وشحنته -1/3. ويتألف البروتون من كواركين u، وكوارك واحد d (أي أن شحنته تساوي +1). أما النترون، فعلى عكس البروتون ←

الشكل 7.1 (الشرح في الصفحة التالية)

رابعاً. أمّا في اللحظة التي بلغ فيها عمر الكون جزءاً من مئة مليار (أي 10^{-11}) من الثانية، فإن درجة حرارة الكون انخفضت إلى أقل من مليون مليار أي 10^{15} درجة مطلقة أو كلفن، وأصبحت ظروف الكون الوليد مواتية لانشطار توأمي القوة النووية الضعيفة والقوة الكهرطيسية، فولدت هاتان القوتان كقوتين مستقلتين وظيفيتين. وهنا أيضاً حدث هذا الانشطار بآلية فصم متناظرة. وكما أن الفوتون هو رسيل القوة الكهرطيسية (وهو عديم الكتلة)، فإنّ الجُسيمات W^+ (من ضعيف weak)، وW^-، وZ، هي رسل القوة النووية الضعيفة(15.1)، وذات كتل مرتفعة. يمكن القول إذاً أنّ هذه المرحلة من عمر الكون أصبحت تتمتع بفعل القوى الأربع للطبيعة التي ولدت على التتالي بتحولات طورية ثلاثة (انظر الفقرة 2.1): الثقالة في اللحظة 10^{-43} من الثانية (لحظة حدوث الانفجار الأعظم وبدء ولادة الكون بزمانه ومكانه)، ثم القوة النووية الشديدة في اللحظة 10^{-35} من الثانية، ثم القوتين المدموجتين: النووية الضعيفة والكهرطيسية، وأخيراً انفصال هاتين القوتين عن بعضهما في اللحظة 10^{-11} من الثانية. ولا بد من التأكيد في هذا الصدد أنّ ولادة هذه القوى أتى كنتيجة منطقية لتبرد الكون، وأنّ هذه

← تماماً، يتألف من كواركين d وكوارك واحد u، مما يجعل شحنته صفراً. وغني عن البيان أنّ الكواركات (التي هي أثقل بكثير من الإلكترون)، وكذلك الإلكترونات، هي كالفوتونات، رزم من كموم طاقي-كموم «بلانك». وفي حين أنّ الكواركات تخضع لسيطرة القوة النووية الشديدة، فإنّ الإلكترونات واللبتونات الأخرى (انظر الحاشية التالية)، تخضع لسيادة القوة النووية الضعيفة.

(14.1) إنّ كلمة لبتون lepton يونانية الاشتقاق، ويرجع أصلها إلى الكلمة اليونانية leptos، وتعني فيما تعنيه «صغير» أو «رقيق». لقد تم تصنيف الجُسيمات (أو الرزم الكمومية) التي تخضع لفعل القوة النووية الضعيفة، ولا تتأثر بالقوة النووية الشديدة، في ستة أشكال (بعكس الكواركات الستة، التي عرضنا إلى بعضها في الحاشية السابقة، والتي سنعرض لها جميعاً فيما بعد، والتي تتأثر بالقوة النووية الشديدة، ولاتخضع لفعل القوة النووية الضعيفة، وبذلك يتحقق شكل من أشكال التناظر الفائق والرائع الذي يسود الطبيعة). إنّ هذه اللبتونات هي الإلكترون والميون muon (الذي اكتشف عام 1947, وحددت هويته بعد ذلك بثماني سنوات تقريباً، وهـو صنو الإلكترون إنّما يفوقه 205 مرات ثقلاً)، والنترينو neutrino (الذي تنبأ بوجوده النمســاوي «ولفغانغ باولي» Wolfgang Pauli 1900-1958, صاحب مبدأ الاستبعاد Exclusion Principle، Principe'd Exclusion، الذي سنعرض له لاحقاً. ولقد نال «باولي» جائزة نوبل عام 1945). ويوجد نترينو واحد خاص بالإلكترون وآخر خاص بالميون. أما الجُسيمان الآخران فهما التاو tau (الذي اكتشف عام 1975, وكتلته مفرطة الثقل، إذا ما قورن بالميون)، ونترينو التاو. إن هذا الشكل من تناظر الذرة يقتضي إذاً وجود نترينو لكل من الإلكترون والميون والتـاو، فيبلغ عندئذ عدد هذه الرزم الطاقية ستة، تتناظر تناظراً خلاباً مع ستة أنواع من الكـواركـات، التي توجـد في نوى الذرات، وهي الكواركان الفوقي و التحتي (انظر الحاشية السابقة)، والكوارك الغريب(strange)، والكوارك البديع (charm)، و كوارك القمة (top)، و كوارك القاعدة (bottom).

الشكل 1.7 . تمثيل بنية البروتون (الثاني من اليسار في قاعدة الهرم، أو الأزرق)، وبنية النترون (الثالث من اليسار في قاعدة الهرم، أو الرمادي)، والجُسيمات العنصرية الأثقل القريبة من البروتون والنترون، وذلك وفقاً لأنماط ثلاثة من الكواركات تشكل هذه الجُسيمات العنصرية، وهي: الكوارك الفوقي u (كرة تحوي مثلثاً يتجه رأسه إلى الأعلى)، والكوارك التحتي d (كرة تحوي مثلثاً يتجه رأسه إلى الأسفل)، والكوارك الغريب s (كرة تحوي شكلاً هندسياً سباعي الوجوه). لقد مُثلت هذه الكواركات على شكل هرم مثالي ثماني البنية تم استقراؤه من الفلسفة البوذية التي تعتقد أن «النهاية الناقصة» للوجود تأخذ شكل هرم مثالي ثماني البنية. لقد تبين أن هذه البنية هي من أكثر السمات أهمية وجمالاً في ما يتعلق بتراتب الأنماط الستة للكواركات (انظر الحاشيتين 13.1 و 14.1) (عن Fraser et al,1998، المرجع 7، ص. 60، انظر أيضاً الصفحة 63 من هذا المرجع للوقوف مرة ثانية على بنية كل من البروتون والنترون، وعلى بنية كل من البيّون الموجب والبيّون السلبي).

(15.1) تم التنبؤ نظرياً (كما سنعرض لذلك تفصيلاً في الفصل الثاني) بوجود حوامل أو رسل القوة النووية الضعيفة من قبل عدد من الباحثين، يأتي في مقدمتهم الإسكوتلندي "بيتر هيغز" Peter Higgs الذي وضع نظرية الحقل المسمى باسمه. ووفقاً لهذه النظرية، فإن الفوتون (الرزمة الكمومية الجُسيمية الموجيـة)، إلا حامل رسيل القوة الكهرطيسية وعديم الكتلة، يسير موازياً لأتلام حقل هيغز، في حين أن جُسيم W و جُسيم Z (وبسبب من كتلتيـهما المرتفعتين) يســيران تعامدياً مع أتلام حقل هيغز، الذي يزودهما بالطاقة الحركية المطلوبة. وفي عام 1961، طور "شــلدون غلاشــو" Sheldon Glashow، 1932 [تلميذ الفيزيائي الإيطالي "إنريكو فيرمي" Enrico Fermi (1901-1954) الذي حاز على جائزة نوبل عام 1938، واكتشف النشاط الإشــعاعي المتمثل بجُسيمات بيتا، يرجع إلى الفقرة4.3.1، وإلى الحاشية 11.1] نظرية الجُسيمين W^+ و W^- (جُسيمان ثقيلان مشحونان بشحنتين متعاكسـتين)، و Z (جُسيم عديم الشحنة). إنّ لكل من هذه الجُسيمات الثلاثة كتلة تعادل مئة جيف (أي مئة مليار إلكترون فولط تقريباً). وفي عام 1967، أجــرى كل من الأمريكي "ستيفن واينبرغ" Weinberg Steven (1933-)، والباكستاني "محمد عبد السلام" Abdus Salam (1926-1996)، كل ←

الولادة كانت « مبرمجة » في الزمن والمكان، بحيث يكون وجود هذه القوى (وكذلك الجُسيمات الحاملة لها، أو رسلها) شـــرطاً حرجاً وأســاسياً للانتقال إلى المرحــلة التالية (أمر يحدث، من حيث المنطق، أثناء تكون الجنين في الكائنات الحية، وسنعرض له في القسم الخاص بالتطور البيولوجي من هذا الكتاب). هذا، وسنشير إلى العلاقة بين درجة الحرارة وتكون الجُسيمات العنصرية والذرات في القسم الثاني من هذا الكتاب (التطور الفيزيائي الكيميائي).

خامساً. وتُعدُّ اللحظة التي تعــادل جزءاً مــن مليــون (أي 10^{-6}) من الثانية المرحلـــة التي بدأت فيها الكواركات الحرة بالاختفـــاء وإلى الأبد. ففي هذه اللحظة، تبرد الكون الوليد إلى الدرجة عشرة آلاف مليار (أي 10^{13}درجة مطلقة). كانت الكواركات وأضدادها (قبل هبوط السخونة إلى هذه الدرجة) تهيم في الفضاء شوشياً (عشوائياً) على غير هدى، تتشكل وتتفانى بأعداد هائلة. ولكن ما إن أصبحت درجة الحرارة أقل بقليل من الدرجة المشار إليها أنفاً، حتى أصبحت طاقة الجملة غير كافية لتشكيل كواركــات وكواركات مضادة جديدة، في حين أنَّ ما هو موجود منها اســتمر بالتفاني شــفعاً شــفعاً(زوجاً زوجاً)، وبأعداد كبيرة، الأمر الذي استدعى وصف هذه المرحلة بـ «مذبحة الكواركات» التي لم تتوقف إلاَّ عندما انخفضت درجة الجملة إلى ما دون ألف مليار (أي 10^{12}) درجة مطلقة.

سادساً. عندما أصبح عمر الكون جزءاً من عشرة آلاف (أي 10^{-4}) من الثانية، أصبح حجـم الكون (نتيجة التوسع الذي تقارب سرعته سرعة الضوء) بحجم المنظومة الشمسية الحالية، وبدأت الكواركات (التي نجت من المذبحة) بالترابط بعضاً ببعض، لتشكل الباريونات baryons، التي هي البروتونات والنترونات التي نشأت من الكواركين u وd (يرجع إلى الحاشية 1 .13). ولقد حدث الارتباط بفضل القوة النووية الشديدة، ممثلة برسيلها الغليون gluon (الغراء النووي). ويمكن القول أنَّ نواة أول عنصر (نواة الهدرجين أو البروتون) قد تشكلت في هذه المرحلة.

سابعاً. ما إن مضت على ولادة الكون ثانية واحدة، وتبردت درجة الحرارة إلى بضعة عشرات مليار الدرجة، حتى توقف فناء الأنواع الثلاثة للنترينو، وهي: نترينو الإلكترون ونترينو الميون، ونترينو التاو(يرجع إلى الحاشية 1 .14). ويعود أمر نجاة أنواع النترينو (التي كانت حتى هذه المرحلة تحت سيطرة القوة النووية الضعيفة) إلى التبرد المتزايد للكون الذي أدى (في النهاية) إلى إضعاف هذه القوة، الأمر الذي سبب انعتاق أنواع النترينو بأعداد كبيرة، كي تهيم في فضاء الكون حتى يومنا هذا. ولقد اتضح مؤخراً أنَّ للنترينو كتلة ضئيلة جداً، خلافاً لما كان يظن بأنَّه عديم الكتلة.

ثامناً. عندما أصبح عمر الكون الوليد مئة ثانية، تبردت درجة حرارة الجملة إلى مليار درجة مطلقة، مستوى أمكن فيه للبروتونات والنترونات الارتباط بعض ببعض لتشكل النواة الأولى [التي ولدت بعد نواة الهدرجين العادي (البروتون)،

← على انفراد، دراسات نظرية، وحَّدا فيها القوة النووية الضعيفة والقوة الكهرطيسية. وفي عام 1979، منحت جائزة نوبل في الفيزياء لـ "غلاشو" و"واينبرغ" و"عبد السلام" تقديراً للأعمال التي قاموا بها. ولقد أنتج، في عام 1983، فريق سنكروترون synchrotrone "المركــز الأوربي للأبحــاث النوويــة " Centre European de Recherche Nucleare (CERN)، بقيادة الإيطالي " كارلو روبيا " Carlo Rubbia، (1934 ـــ) الجُسيمين w و z. وفي عام 1984، مُنح روبيا و" سيمون فان در مير "Simon van der Meer (1925-) (الفيزيائي الألماني، الذي وضع خطة عمل فريــق "روبيا") جائزة نوبل في الفيزياء. وتجدر الإشارة إلى أنَّ الطاقة التي ولِّدت صنعياً جُسيميw و z في سنكروترون CERN (وتبلغ أكثر من 400 جيف، أو 4×10^{15} درجة مطلقة أو كِلفن، انظر أيضاً الحاشية 7.2)، تساوي نظرياً الطاقة التي كانت سائدة بعد ولادة الكون بأقل من جزء من ألف مــن الثانية الأولى. ولكن هذا لا يعني أنَّ جُسيمي w و z لم يتشكلا (في أثناء سيرورة التكون الطبيعي للمادة) قبل هذه اللحظة، التي ترجع في الزمن إلى جزء من مئة مليار (أي 10^{-11}) ثانية، وذلك بعد حدوث الانفجار الأعظم وبدء ولادة الكون.

والثقيل أو الدوترِيوم (البروتون مرتبطاً بنترون)]، ونعني بذلك نواة الهليوم (جُسيم ألفا) التي تتألف من بروتونين ونترونين (يرجع إلى الحاشية 1 .8). لقد شهد الكون في هذه المرحلة إذاً ولادة هذه النواة، المتراصة البنيان، والشديدة الثبات (يرجع إلى الفقرة1 .3 .4). وتعد ولادة نـواة الهليوم الحدث المهم والمميز لهذه المرحلة. والأمر الغريب حقاً أنَّه لم يحدث في الكـون (خلال الثلاث مئة ألف السنة التالية التي أعقبت مئة الثانية الأولى) إلاَّ القليل: زيادة هامشية في التوسع المنفعل للكون، وتبرد الكون أكثر فأكثر، لتصبح حرارته آلاف الدرجات، وامتزاج أوسع للهدرجين بالهليوم، وولادة بعض نوى العناصر الخفيفة (الليتيوم والبيريليوم والكربون - يرجع إلى الفقرة 1 .3 .3). كما تولد الإشعاع المعروف بأشكاله المختلفة، وفيض من الإلكترونات، وتحررت الفوتونات من البلازما البدئية التي تشكل مادة الكون.

تاسعاً. بعد مرور ثلاث مئة ألف سنة، عاد التطور الموجه ليأخذ مجراه من جديد، إنما بثوب آخر. فالكون شفيف صاف، شفوفية وصفاء ما بعد المخاض الأعظم. ويغمر هذه الشفوفية ضياء باهر آخَّاذ، نجم عن تباطؤ امتصاص الإشعاع الذي هدأت ثورته، ودُجِّنت شدته، فتوقف عن تحطيم الذرات الآخذة بالتشكل. ذلك أن تبرد درجة حرارة الكون أتاحت للنواة أســر الإلكترونات، لتبقى هذه في كنف النواة، تدور في فُلكها، وإلى الأبد. وهكذا، بدأت العناصر المعدنية بالتشـكل.

عاشراً. يُتفق عامة على أنَّ الكون ظل على هذه الحال مدة مليار عام، حيث أخذت بعدئذ المجرات بالتشكل بدءاً من الهدرجين والهليوم والركام (الغبار) الكوني. ومنذ ثلاثة عشر مليار سنة والكون لا يزال كما هو، علماً بأنه عانى توسعاً منفعلاً، يتراوح ما بين 5 و 10 في المئة كل مليار عام (ولا يزال يعاني هذا التوسع المنفعل وفقاً لنماذج « فريدمان »). لقد أصبح نصف قطـر الكـــون الحالي القابل للرصـــد قرابة مليون مليار مليار (أي 10^{24}) كيلومتر، أي طول «بلانك» متبوعاً باثنين وستين صفراً (يبلغ طول «بلانك» جزءاً من مليون مليار مليار مليار أي 10^{-33} من السنتي متر). هذا، ويلخص الجدول 1 .2 معالم سيرورات ولادة الكون.

وقد يكون من المفيد أن نعرض بإيجاز (في ختام هذا الفصل الخاص بالانفجار الأعظم، أو سفر تكوين الكون، أو ولادة ونماء الكون) لأمرين، أولهما علمي بحت تقريباً، ويتعلق بمدى وثوقية هذه الأرقام الممتعة والخلابة (في ما يتعلق بالرياضيين والفلكيين والفيزيائيين، على الأقل)، وثانيهما يتعلق بمنطق سيرورات هذه الأحداث، التي أدَّت إلى ولادة ونماء الكون. وكما سنرى بعد قليل، فإن الأمرين كليهما يخضعان لمبدأ واحد، يسوده المنطق نفسه.

أمَّا في ما يتعلق بمدى وثوقية هذه الأرقام [(مثلاً عندما نقول اللحظة التي تعادل جزءاً من مليار مليار مليار مليار مليار من الثانية بخمس وأربعين صفراً)، أو عندما نذكر درجة حرارة بلانك -مئة ألف مليار مليار مليار(أي رقم واحد متبوعاً باثنين وثلاثين صفراً)، أو طول بلانك - جزءاً من مليون مليار مليار مليار من السنتي متر)، أو نصف قطر الكون (مليون مليار مليار كيلومتر)]، فمن حقنا أن نتســـاءل فيما إذا كانت هذه الأرقـام (المتطرفة في صغرها وفي كبرها) قد حددت فعلاً بالقياس التجريبي؟ إن الإجابة على هذا التساؤل سيكون قطعاً بالنفي. ولكن يمكن التأكيد (بالمقابل) أنَّ هذه الأرقام صحيحة بوثوقية عالية لسببين: الأول منهما أنَّها أتت نتيجة معالجات رياضية فيزيائية، انطلقت إما من نماذج تجريبية أو نظرية منطقية.

فمثلاً، عندما نقول إن أصغر طول في الطبيعة لا يمكن أن يقل عن طول «بلانك»، ذلك لأنه يمكن للفيزياء النظرية أن تبرهن على أن الجُسيم الذي يقل طوله عن طول «بلانك»، يتحول إلى نقطة كمومية (نقطة من الطاقة) تبتلع نفسها. أما السبب الثاني فهو استقرائي، انبثق عن تفسير النتائج التي أتت بها المسرعات الهائلة، التي تســتطيع تحويل الطاقة إلى مادة

الجدول • 2.1 معالم سيرورات أحداث ولادة الكون

اللحظة	درجة الحرارة المطلقة	الطاقة المكافئة (إلكترون فولط)	الخصائص المميزة
10^{-45} ثانية	10^{37}	10^{33}	نقطة لا نهائية الكثافة والسخونة والشوش. قطرها أقل بقليل من طول بلانك (10^{-33} سنتي متر)، تتألف من بنى غشائية ووترية ذات 11 بعداً.
10^{-43} ثانية	10^{32}	10^{28}	حدوث الانفجار الأعظم في النقطة والركام الكموميين. جُسيمات غريبة غير عادية وأضدادها، تتولد وتتفانى باستمرار. انفصال الثقالة (بانجمادها في الانتقال الطوري الأول) عن بقية القوى الموحدة في قوة كبرى واحدة غير وظيفية.
10^{-35} ثانية	10^{30}	10^{26}	انفصال فقاعات بالانتقال الطوري، وتوسع إحداها في الخلاء المحيط فائق التناظر والبرودة. ولادةُ متصلةِ المكان-الزمن. تجمد القوة النووية الشديدة، وانفصالها بالانتقال الطوري الثاني. حجم الكون يساوي حجم البرتقالة.
10^{32} ثانية	10^{25}	10^{21}	تجدد الانفجار، إنما على نحو أضعف وأبطأ. توقف الانتفاخ. تكون الكواركات واللبتونات.
10^{-11} ثانية	10^{15}	10^{11}	تجمد القوتين النووية الضعيفة والكهرطيسية، وانفصالهما بالانتقال الطوري الثالث، ثم انشطار إحداهما عن الأخرى.
10^{6} ثانية	10^{13}	10^{9}	مذبحة الكواركات
10^{-4} ثانية	10^{11}	10^{7}	حجم الكون يقارب حجم المنظومة الشمسية الحالية. تكون البروتونات (نوى الهدرجين) والنترونات.
ثانية واحدة	10^{10}	10^{6}	توقف فناء الأنواع الثلاثة للنترينو.
مئة ثانية	10^{9}	10^{5}	تشكل نوى الهدرجين الثقيل ونواة الهليوم (جُسيم ألفا)، ونوى بعض المعادن الخفيفة المشتقة من اندماجات نوى الهليوم (البيريليوم والكربون والآزوت والأكسجين).
ثلاث مئة ألف عام	10^{3}	0.1	توقف تحطم الذرات، وتحرر الفوتونات من البلازما البدئية. أسر الإلكترونات من قبل نوى العناصر، وتكون ذرات هذه العناصر.
مليار عام			تكون المجرات من الهدرجين والهليوم والركام الكوني. أصبح حجم الكون أصغر بقليل من حجمه الحالي. هبوط درجة حرارة الكون حتى الدرجة 2.7 مطلقة تقريباً.

• لقد اشتقت أرقام الواردة في هذا الجدول من ميكانيك الكم (نظرياً وتجريبياً)، إنها تقديرية في ذلك بموضوع التوازن الحراري (انظر الفقرة 3-10).

وفقاً لمعادلة «آينشتاين» ($E=mc^2$) التي ذُكرت غيرة مرة، والاستنتاج من ذلك أنه في مستوى معين من الطاقة، يمكن حساب زمن ولادة الجُسيمات الأولية (الكواركات واللبتونات وغيرها)، وزمن فنائها، ودرجات حرارة تكونها، وغير ذلك من معالم أساسية في سفر تكوين الكون. وبالإضافة إلى المسرعات الضخمة، نشير أيضاً إلى المسابير الفضائية (التي ذُكرت سابقاً)، التي استطاعت أن تحدد فروقاً في درجات حرارة الجزر الكونية (من مجرات وسدم) تصل، كما رأينا، إلى ثلاث مئة جزء من مليون جزء من الدرجة (يرجع إلى الفقرة 1 . 3 . 3)، وإلى فروق في الكثافة البدئية تصل إلى جزء من 000 100 جزء. كما أن الصور الرائعة، والمعطيات الكثيرة التي يرسلها مقراب «هَبْل»، تتوافق تماماً مع نموذج الانفجار الأعظم (النموذج المعياري) وسيرورات ولادة الكون، كما عرضنا لها. وأخيراً، لا بد من التأكيد أنَّ ميكانيك الكم (دراسة الجُسيمات العنصرية أي دون الذرية، التي لا تأبه ببنية الجسم ككتلة)، وثقالة «نيوتن»، ونسبية «آينشتاين» (دراسة الأجسام الكبِرية، بدءاً من جسم الإنسان حتى النجوم والمجرات، التي لا تأبه بالبنية دون الذرية لهذه الأجسام)، إنَّ هذه العلوم قدمت كلها براهين عديدة وكافية، على صحة نظرية الانفجار الأعظم. وكما سنعرض لاحقاً، يمكن إنشاء جُسيمات عنصرية في الجيل الحالي من المسرعات (التي تبلغ طاقتها 400 جيف، أي 4×10^{11} إلكترون فولط، أي ما يعادل 4×10^{15} درجة مطلقة - إنَّ كل درجة حرارة مطلقة تساوي 0.00086170 إلكترون فولط؛ أي ثابتة «بولتزمان»). ومن المؤمل أن تصل طاقة الجيل القادم من المسرعات إلى بضعة آلاف غيف. ومع أنَّه يستحيل حالياً بناء المسرع الذي يستطيع أن ينتج طاقة تزيد على 10^{28} إلكترون فولت (الطاقة، التي حدث فيها الانفجار الأعظم) لأنَّ حجمه سيقارب حجم المنظومة الشمسية، فإن نظرية الانفجار الأعظم قد تجاوزت الحاجة (لإثبات صحتها) إلى هذا النوع من البراهين الفلسفية، وأصبحت تقدم هي نفسها فرضيات يتم التثبت من صحتها يوماً بعد يوم. وإذا كان من الصعب إيجاد موقع معقول بالنسبة إلى معاييرنا لرقم مثل 10^{-45} ثانية في سلم عمر الكون (13 مليار سنة تقريباً)، علينا أن ننظر إلى هذا الرقم، وإلى درجة حرارة مطلقة تبلغ 10^{37} كلِفن، وإلى طاقة تبلغ 10^{33} إلكترون فولط، وإلى طول يبلغ 10^{-33} سنتي متر، على أنَّها معالم متفردة، كتفرد الانفجار الأعظم نفسه. إنَّها جزء من هذا الحدث، الذي يستحيل على الإنسان إحداثه. إنَّ هذه الأرقام تغدو دونما معنى إذا ما وضعت خارج إطار حدث الانفجار الأعظم، تماماً كما يحدث لسيرورات التطور الثلاث المختلفة (الفيزيائي الفلكي، والفيزيائي الكيميائي، والبيولوجي) إذا ما وضعت خارج إطار المبدأ البشري، ونشوء حياة ذكية على سطح الأرض يكون فيها الإنسان خليفة الله. أما الأمر الثاني الخاص بمنطق سيرورات أحداث ولادة الكون، فيرتبط أمر معالجته بما ورد في مقدمة هذا الكتاب.

إننا نعود لنؤكد يقيننا بأنَّ هذه السيرورات كانت موجهة، وأنَّها خضعت لمنطق ذي معنى، منظم للشوش والفوضى، ويناقض الأنتروبية من حيث النزوع إلى الانتظام، ويستولد من الأبسط بنية ما هو أعقد تركيباً، ومن الأقل كفايةً وأداءً، ما هو أرفع فاعلية وأنجع فائدة للمعنى المنشود. ويمكن القول أنَّ الكون كان ولا يزال (منذ ولادته وحتى الآن، وربما إلى الأبد)، وبسبب من هذا التطور الموجه، في صراع دائم ضد الفوضى (ضد الأنتروبية والشوش)، يشبه تماماً صراع الخير ضد الشر. لقد كانت المرحلةُ الواحدة (كتكون الكائن الحي) نتيجةً لما سبقها، وأساساً لما سيتبعها. **إنَّ ولادة مادة الكون من الركام الكمومي، ونشوء القوى الأربع للطبيعة، وتشكل مادة العناصر، والتوسع المنفعل للكون، وتبرده، وأشعته الثمالية، ومستحاثاته من فوتونات وهليوم، وعتامة فضائه، أتت كلها كحلقات منطقية التسلسل لسفر**

نشوء كون في لحظة ليس لها ما قبلها، أو على الأقل يصعب البرهان على وجود أمس لها. إنَّ هذه القرائن كلها تؤكد وجود لحظة أُنجز خلالها ما خُلق، وأُمر ما خُلق بالالتزام بالقوى التي خُلقت، وباحترام القوانين التي تفرضها هذه القوى. وكما سنرى في القسم الثالث من هذا الكتاب (التطور البيولوجي)، **فإنَّ حدوث هذا التطور الموجه ذي المعنى استدعى ظهور حياة ذكية على كوكب الأرض، أُعطيت مسؤولية احترام ما خُلق. وكما كنا أكدنا في المقدمة، فإنه لا دور للمصادفة أو للضرورة في هذا التطور الموجه. وكما يقول أناتول فرانس: ‹ إنَّ المصادفة هي الاسم المستعار للإله عندما لا يرغب في توقيع اسمه الصريح ›. إن الإنسان (خليفة اللّه في الأرض)، أعطى هذا الكون وهذا الوجود معنى حقيقياً (إيماناً وعلماً). ولولا وجود الإنسان، يغدو الكون القابل للرصد (5 % مماهو موجود)، وتغدو بقية الوجود (المادة الباردة السوداء، والطاقة المعتمة اللتان تشكلان 95 % مماهو موجود وغير قابل للرصد)، يغدوان بلا معنى.**

الهروب إلى «تدمر»

لا ندري ما الذي دفع «بشارة الخوري» « الأخطل الصغير » (1884–1968) ليجعل من تدمر (دون غيرها من مدائن الصحراء التاريخية) مكاناً، في مسائه يقيم الجن عرسهم، وفي صباحه يولد «المتنبي»:

«عرسٌ من الجنِ في الصحراءِ قَدْ نَصَبوا	لــه الســرادقَ تحتَ الليلِ والقُببــا
كأنـــَّه تدمرُ الزهــراءُ مارجـــــــةٌ	بمثل لُسنِ الأفاعي تقـذف اللَّهبـــا
أو هَضبةٌ من خــُرافــاتٍ مرقعـــــةِ	بأعينٍ مـن لظىً أو من رؤوسِ ظُبى
تخاصرَ الجنُّ فيها بعدمــا ســكروا	وبعدمـا احتدمتْ أوتارهم صخبـا
فأفزعَ الرملَ مـا زفــوُّا ومـا عــزفوا	فطارَ يستنجدُ القيعانَ والكُثُبـــــا
تكشَّفَ الصبحُ عـن طفـلٍ ومــــاردةٍ	له على صَدرهـا زأرٌ إذا غَضِبــــا»

إنَّ الهروب إلى تدمر (والانعتاق في تاريخها من خلال معبدها، وقوس نصرها، وشارعها الكبير، ومسرحها وأسواقها، وقاعة مجلس شيوخها، ورباعيات عمدها) هي رغبة مستدامة يصعب التعبير عنها بوضوح. ولكن قد يجد من يلوذ «بتدمر» في « إيوان كسرى » لـ « البحتري» « الوليد بن عُبيد بن يحيى » (821 - 897)، بعضاً من تدمر ومن المشاعر التي تستثيرها في انعتاق الفكر:

« بُـلَـغٌ مـــن صَـبـابَةِ العيـشِ عندي	طَفَّفتَهــا الأيـامُ تَـطفـيفَ بَخــسِ
حـضـرتْ رحـــــلِيَ الهمـــــومُ، فوجهــــتُ إلـى أبيـضِ المـدائـنِ عَنـســـي	
أتسـلّى عــــن الخُطُوبِ، وآســى	لمحـلٍ مـــن آلِ ســاســانَ دَرسِ
ذكَّرتنيهمُ الخُطُــوبُ التــوالـــــي	ولقد تُذْكـرُ الخطــوبُ وتُـنسـي
حِـلَلٌ لــم تكُن كـأطـلالِ سُـعدى	في قِـفـارٍ مـن البسـابسِ مُلسِ
فـــــإذا مــا رأيـتَ صـورةَ أنطـــــاكـيـةَ ارتـعْـتَ بيـــنَ رُومٍ وفُـــرسِ	
مِـــنْ مُشيحٍ يهوي بـعـامِلِ رُمــحِ	ومُليـحٍ مـــن الســنانِ بتُــرسِ
تصــفُ العيـــنُ أنَّـهـم جِـدُّ أحيـــاءِ لـهـم بينـهـم إشــــارةُ خُـرسِ	
يغتلي فيهـمُ ارتيـــابـيَ حتـــى	تتقـرَّاهُــمُ يــــداي بـلـمْـسِ
وكـأنَّ الإيـوانَ مـــن عَجَـبِ الصَّـنْـعـةِ جَـــوْبٌ فـــي جَنْـبِ أرعَــنَ جَلْــسِ	
مُزعجاً بالـفـراقِ عـــن أُنــسِ إلـفِ	عـزَّ أو مُـرهقـاً بتـطليـقِ عِــرسِ
وكــــأنَّ الـلِّقــاءَ أولُ مـــــن أمـــسِ و وشــــكَ الـفـــراقِ أوَّلُ أمـــسِ »	



الفصل الثاني

القوى الطبيعية الأربع ودورها في التطور

" Despite so many ordeals , my advanced age ,
And the nobility of my soul , make me conclude ,
" That ALL IS WELL".

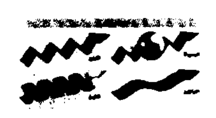
Sophocles, Sophocle (496, 494 - 406 B.C.) in Oedipus,Oedipe

« على الرغم من كثرة المحن التي مرت بي ،
فإنَّ عمريَّ المتقدم، وسمو نفسي، يجعلاني أستنتج،
أنَّ كلَ شيء على ما يرام »

« سوفوكليس » (ما بين 496 أو 494-406 قبل الميلاد) في « أوديب ».

2 .1. مقدمة عامة

مما لا لبس فيه أنَّ كل شيء في هذا الكون في تغير مستمر. فالكون نفسه يتوسع توسعاً منفعلاً على نحو دائم، والمجرات والكواكب والمادة اللاحية والحية، في حركة متغيرة مستديمة. شيء واحد في هذا الكون لا يتغير، إنَّه القوى الطبيعية الأربع التي كانت ولادتها جزءاً من ولادة هذا الكون. فهل تمثل هذه القوى (في ما يتعلق بالكون) ما يمثله الخلود في ما يتعلق بالنفس البشرية؟ غالباً ما تحلو لنا العودة إلى الماضي. كنت أقرأ كثيراً من الأدب العالمي وبعض الشعر العربي الأصيل. لقد قرأت (إضافة إلى البيولوجيا) أثناء تحضيري (في أوائل الستينات) درجة الدكتوراه في جامعة « فيرجينيا »، في بلدة «تشارلوتزفيل» الجميلة. قرأت لـ«دوستويفسكي» و«كافكا» و«بوشكين» و«كركيغارد» و«سوفوكليس» و«كامو» و«هوميرس» وغيرهم. وغالباً ما كان يروق لي أن أسجل حرفياً بعض الجمل أو الفقرات. يقول «دوستويفسكي»: «إذا افترضنا أنَّه كان بالإمكان أن ننتزع من الإنسان الاعتقاد بالخلود، فلن يموت الحب فقط، بل تتلاشى أيضاً كل قوة تصون الحياة في هذا العالم». ويسأل التلميذ «كوليا» الشاب «أليوشا كارامازوف» (الأخ الأصغر الذي كان يُجَسد على ما يبدو في «الأخوة كارامازوف» شخصية «دوستويفسكي» الذي كان له موقف إنساني متميز تجاه الأطفال)، يسأله بعد مأتم دفن صديقهم التلميذ الفقير «أليوشيا»: « كارامازوف»، هل صحيحٌ أنَّ الدين يقول بأنَّنا سنُبعث من الموت، وسنلتقي جميعاً من جديد بصديقنا «أليوشيا»؟ فيجيب «أليوشا»: «بالتأكيد سنُبعث من الموت من جديد، وسنلتقي ثانية، وسيروي كل واحد منا للآخرين، وبفرح غامر، الأحداث التي مرَّ بها ». **ونحن نصف، كما سبق وذكرنا، قوانين الطبيعة والقوى الطبيعية الأربع الخالدة بأنها « إرادة الله ».**



كانت تعاليم «أرسطو» Aristote (384-322 قبل الميلاد) ترى أن العالم يتألف من أربع مواد أوَّلية لا تقبل التفكك، هي: الماء والهواء والتراب والنار، ومن قوتين أساسيتين، هما الثقالة التي تؤثر في الماء والتراب، فتدفع بهما دائماً إلى الأسفل. وانعدام الثقل، القوة التي تدفع (بعكس الثقالة) النار والهواء إلى الأعلى. وعلى الرغم من خطأ تفاصيل هذه الأفكار، فإن الكون يتألف فعلاً من مادة وطاقة (قوة). وكما سنعرض لهذا الموضوع فيما بعد، فإنَّ القوى الطبيعية الأربع (كالمادة نفسها التي تسود عالم اليوم) قد تشكلت في أثناء ولادة الكون، في عالم كانت تسود فيه الطاقة. حتى إنَّ قوة الثقالة (التي تتمرد على محاولات دمجها بالقوى الأخرى الثلاث في قوة واحدة كبرى)، كانت في بدء بداية الكون موحدة مع القوى الأخرى على شكل إشعاع ثقالي radiation gravitationelle، gravitationl radiation ذي أوتار وأغشية وحويصلات لها أحد عشر بعداً.

وكما كنا عرضنا في الفصل السابق، وسواء كنا في الطرف الكِبري من الأجسام (بدءاً من طول الإنسان مثلاً حتى نصف قطر الكون أو مليون مليار مليار، أي 10^{24} كيلو متر)، وحيث تخضع الأجسام إلى ثقالة نيوتن ونسبية آينشتاين. أو كنا في الطرف الصِغري للمادة (بدءاً من الخلايا الحية للجسم البشري وحتى اللبتونات والكواركات في الذرة، وصولاً إلى طول «بلانك»، أي جزء من مليون مليار مليار من السنتي متر، حيث يتحول الجُسيم إلى ثقب طاقي أسود يبتلع نفسه)، حيث تخضع الجُسيمات العنصرية للذرة إلى قواعد ميكانيك الكم الذي يقوم أساساً على مبدأي الارتياب لِـ «هايزنبرغ» والاستبعاد لِـ «باولي». سواء كنا في هذا النقيض أو ذاك، فإن نوعي الأجسام يخضعان لفعل قوى الطبيعة الأربع، وإنَّ رسل هذه القوى أو نواقلها أو حواملها • (كما سنعرض لها في نهاية هذه الفقرة) مسؤولة عن التآثرات بين أجسام الكون كافةً، كبيرها وصغيرها. وبدهي أن يكون من غير المفيد كثيراً التحدث عن البنية التبولوجية للكواكب والسدم والمجرات (التي لا نعرف عنها الكثير) في الوقت الذي نستطيع فيه التحدث عن بنية الذرات، التي تتألف منها هذه الأجسام الفلكية. وبدهي أيضاً أن ينطوي ميكانيك الكم (وفقاً للمبدأين المذكورين آنفاً) على خاصة أساسية تمثل جزءاً من الكينونة الحركية للجُسيمات العنصرية، ونعني بذلك الدوران الموجه لهذه الجُسيمات (في أثناء انطلاقها)، ولرسل قوى الطبيعة الأربع. ويعرف هذا الدوران الموجه بالتدويم أو بالسبين spin (الحركة التي تشاهد في المغزل اليدوي الذي كان يستعمل لتحضير الخيوط بدءاً من كتلة من الصوف مثلاً). وبالنظر إلى أن لكل جُسيم عنصري ولكل رسيل قوة تدويماً أو سبيناً يميزه كخاصة أساسية، فلا بد (والحالة هذه) من الإشارة إلى هذه الخاصة الفيزيائية للجُسيمات العنصرية، ولو ببعض الإيجاز.

إنَّ تدويم الجُسيم العنصري أو سبينه (أو جُسيم ناقل القوة أو جُسيم رسيل messenger، messager القوة)، يتوقف على النقطة المكانية التي ننظر منها إلى الجُسيم، وعلى اتجاه هذا الجُسيم (وكذلك ناقل القوة لأنه هو الآخر وكما سنرى جُسيمي أيضاً). ويمكن توصيف منحى الجُسيم (وبالتالي اتجاهه في أثناء انطلاقه) بمحيط الدائرة. فإذا كان الجُسيم عديم القطبية (أو عديم المنحى، أي لا توجد في بنيته نقطة تختلف ظاهرياً عن أي نقطة أخرى) كالكرة المتجانسة مثلاً، فإنه لن يحتاج إلى أي تدوير كي يعود إلى الوضع الذي كان موجوداً فيه (لأن مناحيه كافة متساوية، أي عديم الاتجاه). إنَّ جُسيم من هذا النمط تدويماً أو سبيناً يساوي صفراً (أي إن له دوراناً تدويمياً واحداً في الاتجاهات كلها). أمَّا إذا كان

• نستعمل في هذا الكتاب المترادفات: رسيل messenger، messager، أو حامل (ناقل) vector، vecteur لمعنى واحد، ويقصد به خاصة فيزيائية، ترتبط بإحدى القوى الطبيعية الأربع.

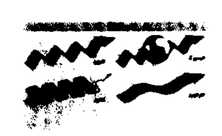


للجُسيم نهايتان مثلثتان (كدمية ذات رأسين أو كسهم ذي اتجاهين متقابلين)، فإنَّ عكس وضع إحدى النهايتين بالنسبة للأخرى يحتاج إلى تدوير يساوي نصف دورة (أو نصف دائرة، أو 180 درجة). إنَّ التدويم أو السبين الخاص بهذا الجُسيم ثنائي القطب يساوي 2. أي إنَّ لهذا الجُسيم إمكانين لتدويم واحد (أو للتدويم نفسه). أما الجُسيمات ذات القطب الواحد (كأجسام الكائنات الحية التي لها نهاية أمامية -رأس- تختلف عن نهاية خلفية -ذيل-، بما في ذلك جسم الإنسان، وكالسهم ذي الاتجاه الواحد)، فإنَّ إعادة الجُسيم إلى الوضع الذي كان فيه، يحتاج إلى تدوير قدره دورة كاملة (أو 360 درجة). إنَّ لهذا الجُسيم منحى واحداً (أو إمكاناً واحداً) للتدويم. إنَّ جُسيماً من هذا النمط يتميز بتدويم أو سبين يساوي 1. ولكن يمكن أن يكون لجُسيم معين اتجاهات متخالفة فراغياً. إنَّ إعادة الجُسيم إلى وَضعه الذي بدأ منه، يحتاج إلى تدوير قدره مرتان (أو دورتان كاملتان). إنَّ سبين هذا الجُسيم يكون مقيداً على نحو أكثر صرامة، ويساوي $1/2$. يمكننا أن نستنتج مما سبق أنَّ الجُسيمات ذات الأقطاب المتعددة والمتناظرة تحتاج (كي تستعيد وَضعها الأول أو منحاها الأول) إلى تدوير يعادل أقواساً من محيط الدائرة، ويقل عدد درجات هذه الأقواس (أو أجزاء محيط الدائرة) كلما ازداد عدد الأقطاب المتناظرة. إنَّ تدويم أو سبين هذا النمط من الجُسيمات يتناسب طرداً مع عدد مناحي (أو اتجاهات أو أقطاب) الجُسيم وذلك بدءاً من سبين 3 فأكثر.

يمكننا الآن أن نتلمس بسهولة أكبر العلاقة (في ميكانيك الكم أو فيزياء الجُسيمات العنصرية[1،2]) بين تدويم أو سبين الجُسيم (اتجاه دورانه على نفسه في أثناء انطلاقه)، وبين مبدأ الارتياب لـ«هايزنبرغ» (العلاقة بين موقع الجُسيم واندفاعه، يرجع إلى الحاشية 2) من جهة، وبين هذا التدويم أو السبين ومبدأ الاستبعاد لـ«باولي» (يرجع إلى الحاشية 1، 14) من جهة أخرى. ويمكن القول بتبسيط شديد إنَّه لا يمكن لجُسيم عنصري أن يتمتع بخصائص كمومية (وبخاصة من حيث الموقع والسرعة) مماثلة لجُسيم آخر. وهذا هو مبدأ الاستبعاد (أي إنَّ موقع الجُسيم وسرعته يستبعدان جُسيماً آخر له الصفتان الكموميتان نفساهما) الذي وضعه «باولي» عام 1925, ومنح جائزة نوبل عام 1945. إنَّ مبدأ الاستبعاد على درجة كبيرة من الأهمية في تفسير بنية الذرة وكذلك عدد من الظواهر الفيزيائية[2،2]. إن هذا المبدأ مسؤول عن تراتب الإلكترونات والبروتونات والنترونات في الذرة لتأخذ شكلها الفعلي. فهو مسؤول عن بنية المادة كما نعرفها سواء كانت حية أو غير حية، وسواء كانت على الأرض أو في كواكب أو نجوم أو مجرات أخرى خارج مجرتنا. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أنَّ مبدأ استبعاد مماثل (ولكن من نمط آخر) يصادف في عمل جينات (مورثات) لمفاويات الجهاز المناعي أو

(1.2) يصدر «مختبر لورنس بركلي» Lawrence Berkely Laboratory في كاليفورنيا (حيث يوجد مسرع ضخم) نشرة كل ستة أشهر، تتضمن قائمة بأسماء الجُسيمات العنصرية. ومع أننا عرضنا في ما سبق لبعض هذه الجُسيمات، كالكواركات واللبتونات (يرجع إلى الحاشيتين 1.13 و 1.14)، فإن عدد هذه الجُسيمات أصبح يناهز المئات. بيد أن عدد الجُسيمات العنصرية المسؤولة عن التناظر الفائق للمادة يقل قليلاً عن أربعين جسيماً.

(2.2) إن مبدأ الاستبعاد مسؤول عن بنية الذرات (و من ثم المادة) كما نعرفها حالياً، ويفسر لماذا لا يمكن لجُسيمين مثيلين كمومياً (موقعاً وسرعةً وطاقةً، ككواركين مثيلين مثلاً) أن يكونا موجودين على شكل جُسيم أكبر، لذلك أعطيت الكواركات مثلاً (وهي في النواة) أسماء وألوان، وحتى نكهات، مختلفة سنعرض لها تفصيلاً في التطور الفيزيائي الكيميائي من هذا الكتاب (يرجع أيضاً إلى الحاشية 1.13). كما أنَّ مبدأ الاستبعاد يفسر لماذا لا ترتص (في الحالة الكمومية للمادة) الجسيمات بعضها على بعض بفعل رسل القوى الأربع، وتغدو خليطاً شوشياً كسير التناظر وذا كثافة هائلة. ومع أن مبدأ الاستبعاد خاصة وميكانيك الكم عامة، يحولان دون الارتصاص الانسحاقي لإلكترونات الذرة على نواتها عند تشكل الأقزام البيض (موضوع سنعرض له في الفصل التالي)، فإنَّ مبدأ الاستبعاد لا ينقذ أحياناً الذرات من فعل الثقالة التي تطغى على ذلك المبدأ، فتسبب الارتصاص الانسحاقي لمادة الكوكب التي تصبح هائلة الكثافة (حالة النجم النتروني). كما أنَّ مبدأ الاستبعاد أتاح ←



خلاياه اللمفية. ويعرف المبدأ هنا بالاستبعاد الأليلي allelic exclusion، exclusion allelique (الأليل هو نسخة الجين الموروث من أحد الأبوين، أو نسخة جين طافر). فالجين الذي نرثه من الأم مثلاً يستبعد (عند قيامه بوظيفته في الخلايا اللمفية للجهاز المناعي) عمل الجين الذي نرثه من الأب (والعكس صحيح أيضاً)، أي إنه لا يمكن لنسختي الجين الواحد اللتين نرثهما من الأم والأب أن تعملا معاً (ولو حدث ذلك انكسر التناظر هنا أيضاً، وأصبحت مناعة الكائن الحي مختلفة عما هي عليه حالياً). وقد يشبه ذلك ما يحدث إذا ما اختلطت الإلكترونات بعضها ببعض وبالنترونات والبروتونات، وانعدم التناظر في بنية الذرة.

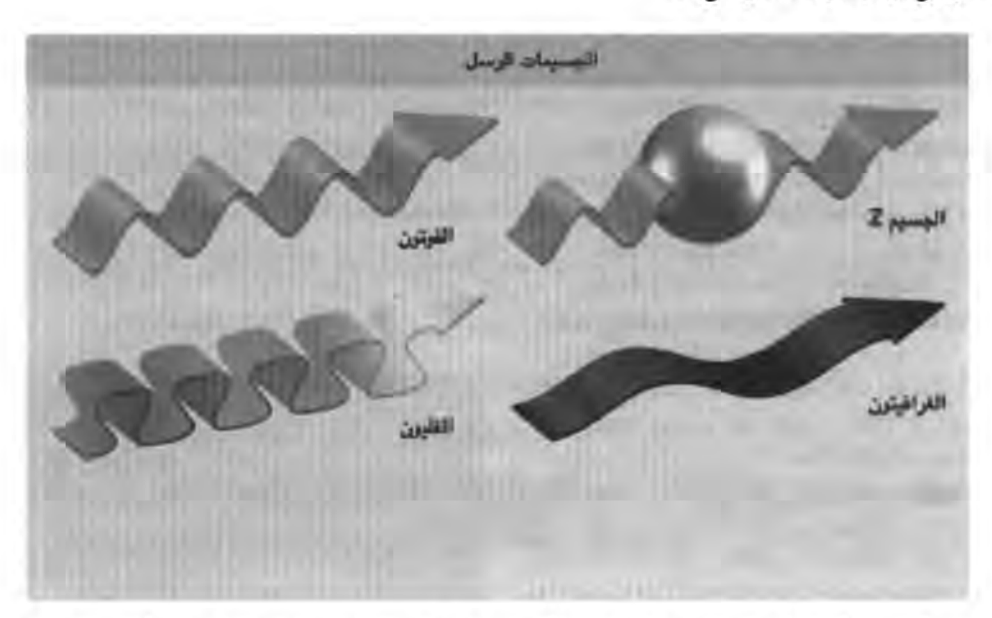
وتجدر الإشارة إلى أن الجُسيمات التي تشكل مادة الكون المعروف تتميز بتدويم أو سبين يساوي $1/2$، أي إنَّ للجُسيم قطبين لهما منحيان غير متناظرين فراغياً. أما أنواع السبين 0 و 1 و 2 فتخصص نواقل القوى الأربع للطبيعة أو رسلها، التي هي جُسيمات «وهمية»، بمعنى أنه لا يمكن إخضاع نواقل هذه القوى للتجربة، إنما يمكن قياس تأثيراتها التي تتجلى على شكل تأثرات (أو تفاعلات) بين جُسيمات المادة. وفي الحقيقة فإنَّ رسل هذه القوى هي المسؤولة عن مبدأ «باولي» (يرجع إلى الحاشية 2.2)، وبالتالي عن عدم ارتصاص جُسيمات المادة (الإلكترونات، والبروتونات، والنترونات، وغيرها من الجُسيمات العنصرية) بعضها على بعض. كما يمكن لنواقل هذه القوى أن تسلك في حالات معينة سلوك جُسيمات حقيقية (غير وهمية) موجيّة الطبيعة، فيمكن قياسها بحد ذاتها. ونذكر مثلاً أنَّ قوة التناظر بين الشحنتين السلبيتين لإلكترونين غير متجاورين تجاوراً شديداً، تتمثل بتبادل فوتونات (نواقل القوة الكهرطيسية) وهمية لا يمكن الكشف عنها. أمَّا إذا حدث ومر إلكترون ما على مقربة كبيرة من إلكترون آخر، فيتحول عندئذ ناقل القوة الكهرطيسية إلى فوتونات تظهر على شكل موجات ضوئية يمكن قياسها [6] وكان «ديراك» أول من فسر رياضياً لماذا يتميز الإلكترون (كبقية جُسيمات المادة) بسبين يساوي $1/2$. ويُعدُّ هذا الباحث أول من تنبأ بوجود مضاد الإلكترون (البوزيترون)، وأول من واءم بين ميكانيك الكم والنسبية الخاصة لـ «آينشتاين» (يرجع إلى الحاشية 1.2).

وكما كنا عرضنا في ما سبق (يرجع إلى الحاشيتين 13.1 و 14.1)، فإنَّ المادة تتألف بصورة أساسية من اللبتونات والكواركات. فاللبتونات تتحسس القوة النووية الضعيفة، كما يمكنها (إذا كانت مشحونة) أن تتأثر بالقوة الكهرطيسية. أمَّا الكواركات فتتحسس القوة النووية الشديدة والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرطيسية. وكما كنا ذكرنا في ما سبق، فإنَّ هنالك ما يشير إلى أنَّه يمكن للثقالة أن تصبح (في شروط التوازن الحراري مفرط الشدة [10]، أي درجة حرارة «بلانك» أو 10^{32} درجة مطلقة أو كلفن) ذات تأثير يماثل تأثير القوى الأخرى، ذلك أن هذه القوى تكون كلها موحدة في قوة واحدة كبرى غير وظيفية. بناء على ذلك، يمكننا أن نقيم علاقة ما بين جسيمات المادة ذات السبين، وجُسيمات نواقل (رُسل) القوى ذات السبين 0 و 2 و 1، بقولنا إنَّ جُسيم رسيل القوة الكهرطيسية (وهو الفوتون) يميز الإلكترون ويرتبط

←للكواركات المختلفة كمومياً أن تشكل البروتونات والنترونات ككينونات مستقلة، ومكنها (مع الإلكترونات) من تشكيل ذرات محددة تماماً ومستقل بعضها عن بعض. أي إن هذا المبدأ مسؤول عن بنية المادة كما نعرفها. وفي حين أنَّ الجُسيمات ذات التدويم أو السبين (جُسيمات مادة الكون) تمتثل لمبدأ الاستبعاد، فإن رسل أو نواقل القوى تتجاهل هذا المبدأ، الأمر الذي يمنحها خصائص مهمة جداً. فعدد هذه النواقل (أو شدة القوى) في نقطة ما يمكن أن يكون كبيراً جداً. كما يمكن للمسافة التي تؤثر عبرها هذه القوى (ما دامت نواقلها عديمة الكتلة في غالب الحالات) أن تكون كبيرة أيضاً. وهكذا يمكن القول إنَّ الجُسيمات الحقيقية لمادة الكون ذات التدويم أو السبين 1/2، والجُسيمات الوهمية (رسل القوى) وذات السبين 0، و 2، و 1 يكمل أحدهما الآخر بتناظر فائق، فيمنح الذرات بنيتها (بالامتثال لمبدأ الاستبعاد) من جهة، وترابطها وتآثراتها فيما بينها من جهة أخرى (بعدم الامتثال لمبدأ الاستبعاد).

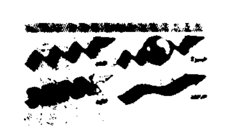


به بعلاقة مباشرة. وإنَّ جُسيمي رسيلي القوة النووية الضعيفة (الجُسيمان W و Z، يرجع إلى الحاشية 1، 15) يخصصان اللبتونات كافة. أمَّا جُسيم رسيل القوة النووية الشديدة (وهو الغليون gluon) فيميز الكواركات ومن ثم البروتونات والنترونات التي تشكل نوى الذرات. ويشكل الغرافيتون graviton جُسيم رسيل القوة الثقالية التي يصبح تأثيرها مماثلاً لتأثير القوى الأخرى في ظروف توازن حراري مفرط الشدة. أما في الحالة العادية للمادة، فالفوتون والجُسيمان W و Z تؤثر (كحوامل قوة) في الجُسيمات خارج النواة، في حين أنَّ الغليون يعمل في النواة نفسها، ويكون فعل الغرافيتون ضئيلاً جداً. ومع أنَّه في درجة حرارة تتجاوز مئة ألف مليار مليار مليار (أي درجة حرارة الانفجار الأعظم التي تفوق درجة حرارة «بلانك» أو 10^{32} درجة مطلقة أو كلفن)، حيث تلقى القوى الأربع للطبيعة حتفها، فإن درجة حرارة «بلانك» توحد بين هذه القوى، وتجعل منها قوة كبرى واحدة (إنما مسلوبة التأثير والإرادة بسبب عدم وجود المادة)، وتجعل تأثيرات جُسيمات رُسُلها واحدة، وذات محصلة معدومة. هذا، ويمثل الشكل 2.1 توضيحاً ترسيمياً لهذه الجُسيمات النواقل أو الجُسيمات الرُسل[7].



الشكل 2.1. تمثيل جُسيمات رُسُل (أو نواقل) القوى الطبيعية الأربع. إن كل قوة من هذه القوى محمولة على جُسيم رسيل. فالفوتون خاص بالقوة الكهرطيسية، والجُسيمات من نمط W، والجسيم Z خاصة بالقوة النووية الضعيفة، والغليون يخصص القوة النووية الشديدة التي تربط الكواركات في النواة، والغرافيتون خاص بقوة الثقالة (عن Fraser et al.,1998، المرجع 7، ص. 77).

استناداً إلى فيزياء الجُسيمات العنصرية، ونتائج الدراسات التي تتم بوساطة المسرعات العملاقة، يمكن القول إنَّ هذه القوى كانت (في مرحلة ما من ولادة الكون) موحدة في قوة كبرى واحدة على شكل أوتار وفقاعات غشائية لها أحد عشر بعداً. ولذا فإنه يغدو من الضروري الإشارة إلى آلية وظروف ولادة القوى الأربع للطبيعة بدءاً من هذه القوة الواحدة، (وهو موضوع كنا قد ألمحنا له غير مرة). فبناءً على ما كنا عرضنا في الفصل السابق (في معرض الحديث عن الانفجار الأعظم وولادة الكون)، يمكن القول (إنما بتحفظ مبرر) إن الركام الكمومي كان يتألف من بخار الكواركات والإلكترونات ومن الفوتونات، وبخار أضداد هذه الجُسيمات (أو ما كنا أطلقنا على مجموعه اسم جُسيمات غريبة غير مألوفة وأضداد هذه الجُسيمات). ولكن ما إن بدأ الكون الوليد بالتبرد (في إثر تشكل الفقاعات الانتفاخية، وتوسع



إحداها في خلاء فائق التناظر والتجانس والتبرد توسعاً انتفاخياً تتجاوز سرعته سرعة الضوء) حتى بدأ يمر تدريجياً بثلاث مراحل متعاقبة يُعرف الواحد منها بالانتقال الطوري phase transition، transition de phase، تتجمد فيه القوة الواحدة، فتنفصل عن بقية القوى وينكسر التناظر (التجانس). وهذا ما يحدث للماء شديد التناظر (التجانس) عندما يُبرَّد تدريجياً إلى درجة تقل عن الصفر المئوي دون أن يتجمد كلياً، فتتشكل عندئذٍ بلورات جليدية هنا وهناك، ويفقد الماء تجانسه (ينكسر تناظره). ويمكن عندئذ فصل البلورات المتجمدة عن بقية الماء. فانفصال البلورات نجم عن انتقال طوري بين طور سائل وطور صلب. وتجدر الإشارة هنا إلى أنَّه يحلو لبعض الفيزيائيين الفلكيين تمثيل توسع إحدى الفقاعات (في إثر حدوث الانفجار الأعظم) توسعاً انتفاخياً بفقاعة بخار الماء التي تتوسع نتيجة اندماجها بفقاعات أصغر في الانتقال الطوري للماء من سائل إلى بخار. فهنا أيضاً يفقد الماء تجانسه (ينكسر تناظره)، ويتحول قسم من سائله (مادته) إلى فقاعات، تتوسع إحداها على حساب الفقاعات الأخرى في وسط متناظر ومفرط البرودة نسبياً (من الدرجة مئة إلى الدرجة 25 مئوية تقريباً). فولادة الكون نجمت إذاً عن انتقال طوري كمومي من طاقة إلى مادة.

في أثناء تبرد الكون إذاً تتجمد القوة، وينكسر التناظر مؤقتاً، فتنفصل هذه القوة عن بقية القوى الموحدة في قوة واحدة. فبالانجماد الانتقالي الطوري للكون (بسبب تبرده الناجم عن التوسع في خلاء فائق التناظر أو التجانس)، وبالتبرد، وبانكسار هذا التناظر مؤقتاً، ولدت القوى الطبيعية الأربع بدءاً من قوة واحدة كبرى في أثناء ثلاثة انتقالات طورية انجمادية متعاقبة. كما أنَّ تشكل الكون أتى نتيجة انتقال طوري، بسبب توسع إحدى الفقاعات الانتفاخية (الأمر الذي يحدث كما أسلفنا عند انتقال جزء من الماء السائل إلى ماء متبخر).

لقد ولدت قوة الثقالة عندما هبطت درجة حرارة الركام الكمومي البدئي إلى درجة حرارة بلانك، أو ما يعرف أحياناً بجدار بلانك (أي 10^{32} درجة مطلقة أو كلِفن)، وذلك عندما كان عمر الكون يساوي جزءاً من عشرة ملايين مليار مليار مليار مليار جزء من الثانية (أو 10^{-43} ثانية). لقد هبطت عندئذ درجة حرارة الركام الكمومي من أكثر من مليار مليار مليار مليار (أو 10^{37}) إلى مئة ألف مليار مليار مليار (أو 10^{32}) درجة مطلقة أو كلِفن، فانكسر التناظر (التجانس) وحدث انجماد قوة الثقالة (نتيجة الانتقال الطوري)، وتم انفصالها عن القوة الموحدة الكبرى. وهذا ما حدث أيضاً للقوة النووية الشديدة عندما هبطت درجة الحرارة إلى مليار مليار مليار (أو 10^{27}) درجة مطلقة أو كلِفن، فانكسر التناظر من جديد، وتجمدت هذه القوة بالانتقال الطوري الثاني، وانفصلت عن مجموع القوتين المتبقيتين. وكان عمر الكون يساوي آنئذٍ جزءاً من مئة مليون مليار مليار جزء من الثانية (أو 10^{-37} ثانية). ثم تكرر الأمر نفسه من جديد، وولدت بالانتقال الطوري الثالث القوة النووية الضعيفة والكهرطيسية. ثم انشطرت إحداهما عن الأخرى عندما هبطت درجة الحرارة إلى مليون مليار (أو 10^{15}) درجة مطلقة أو كلِفن. وكان عمر الكون آنئذ يساوي جزءاً من مئة مليار جزء من الثانية (أو 10^{-11} ثانية).

يمكننا الآن بعد أن أوجزنا العلاقة بين تدويم أو سبين المادة ورسل القوى الطبيعية الأربع، وبين الجُسيمات العنصرية المكونة للمادة ولبعض رسل هذه القوى، وبعد أن أوضحنا أيضاً آلية ولادة هذه القوى بالانتقال الطوري الانجمادي (بدءاً من قوة واحدة كبرى)، يمكننا الآن أن نعرض بتبسيط موجز لهذه القوى الأربع للطبيعة الأزلية الوجود، والتي تمثل مع قوانين الطبيعة، كما سبق وأسلفنا غير مرة «إرادة الله» (يرجع أيضاً إلى المقدمة).

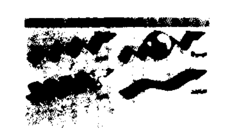


2.2. قوة الثقالة

كما كنا عرضنا سابقاً، فإنَّه يمكن فيزيائياً تقسيم مكونات الكون من حيث الأبعاد إلى قسمين: أجسام كِبرية macro، كالنجوم والكواكب والمجرات، وأجسام صِغرية micro كدقائق الغبار والضباب والكائنات الحية المجهرية، كالخلايا والبكتيريا (الجراثيم)، وكلها أصغر من أن تراه العين البشرية. ولكن إذا استمرينا في تجزئة المادة، فإننا سنصل (في نوعي الأجسام) إلى ذرات المادة التي تتألف كل ذرة منها من إلكترونات ضئيلة الوزن، تدور حول جسم مركزي ثقيل، يعرف بنواة الذرة التي تتألف من بروتونات ونترونات، تتكوّن بدورها من الكواركات. وكما كنا ذكرنا أيضاً، فإن أكبر الأجسام الكِبرية هو الكون الذي يبلغ نصف قطره قرابة مليون مليار مليار (أو 10^{24}) كيلو متر، وإنَّ أصغر الأجسام الصِغرية هو طول «بلانك»، الذي هو جزء من مليون مليار مليار (أو 10^{-33}) من السنتي متر، حيث يتحول الجُسيم بعد ذلك إلى طاقة تشكل ثقباً أسود يبتلع نفسه. إن قوة الثقالة gravity، gravité، أو التثاقل gravitation لـ «نيوتن» والنسبية العامة (3.2) لـ «آينشتاين» تحكمان سلوكية الأجسام الكِبرية، في حين أن ميكانيك الكم (بمبدأي الارتياب لـ «هايزنبرغ» والاستبعاد لـ «باولي» على وجه التخصيص) يحكم سلوكية الجُسيمات العنصرية التي تشكل ذرات المواد.

وكما هو معروف، فإن الأجسام العادية تسقط دائماً باتجاه الأرض بفعل قوة الثقالة. وإذا نحن قذفنا بجسم ما من الأرض باتجاه الفضاء بسرعة تقل عن 11.2 كيلومتراً في الثانية، فإنه سيندفع إلى مسافة وارتفاع معينين ثم يسقط على الأرض بسبب فعل الثقالة. أمَّا إذا كانت سرعة الجسم المقذوف تفوق 11.2 كيلومتراً في الثانية، فإن الجسم سيتحرر من فعل الثقالة وينطلق في الفضاء. وللتدليل على أهمية ضخامة الجسم في فعل الثقالة، نشير إلى أننا لو استبدلنا في المثال السابق الشمس بالأرض، فإنَّ السرعة التي ستحرر الجسم من فعل ثقالة الشمس يجب أن تزيد على 620 كيلومتراً في الثانية (عوضاً عن 11.2 كيلومتراً). أمَّا التحرر من فعل ثقالة قزم أبيض أو نجم نتروني (حيث تبلغ كتلة السنتي متر المكعب الواحد عشرات أو مئات ملايين الأطنان)، فيتطلب سرعة قدرها على الأقل مئتا ألف كيلو متر في الثانية. ففعل الثقالة لا يتوقف على حجم الجسم فحسب، إنما أيضاً على كتلته أو كثافته (ذلك أن النجم النتروني أقل حجماً من الشمس وأكثف منها بكثير). وفي واقع الأمر، فإنَّ فعل الثقالة يرتبط بكتلة الجسم أكثر مما يرتبط بحجمه. وكما كنا عرضنا في ما سبق (يرجع إلى الحاشية 8.1)، فإن قطعة النقود المعدنية تسقط على النجم النتروني أو القزم الأبيض بسبب كثافته (وبالتالي بفعل ثقالته) الهائلة بسرعة تفوق نصف سرعة الضوء، أي أكثر من مئة وخمسين ألف كيلومتر في الثانية. ولاترتبط قوة الثقالة بكثافة الجسم وحجمه فقط إنما بطاقته أيضاً. فإذا ما حسبت ثقالة الشمس وفقاً لقوانين نيوتن التجاذبية (التي سنعرض لها بعد قليل) بناء على كثافة الشمس وكتلتها، ثم حسبت هذه الثقالة وفقاً للنسبية العامة لـ «آينشتاين»

(3.2) سعى «آينشتاين» ما بين 1906 و 1916 إلى التوصل إلى نظرية في الثقالة تتوافق مع نظريته في النسبية الخاصة، التي كان وضعها (كذلك الرياضي الفرنسي الكبير «هنري بوانكاريه»، كما سنعرض إلى ذلك لاحقاً) عام 1905. فتوصل عام 1915 إلى وضع ما يعرف الآن بالنسبية العامة general theory of relativity، théorie générale de relativité. ووفقاً للمبدأ الذي بُنيت عليه النسبية العامة، فإن القوانين العلمية يجب أن تبقى هي نفسها في ما يتعلق بالراصدين كافةً بغض النظر عن طريقة تحركهم. فالنسبية العامة تشرح قوة الثقالة بعلاقات فيزيائية رياضية تأخذ بالحسبان انحناء الأبعاد الأربعة للمكان الزمن نتيجة فعل كتلة الجسم. فكلما ازدادت هذه الكتلة كلما كان انحناء هذه الأبعاد الأربعة أكبر. فالتثاقل (في النسبية العامة) هو فعل الانحناء لمتصلة continuum المكان الزمن التي تُعالج في النسبية كأي خاصة فيزيائية أخرى، كالكتلة، ودرجة الحرارة، وهكذا. وكما أن ثقالة «نيوتن» ألغت نهائياً فكرة الموقع المطلق في المكان، فإن نسبية «آينشتاين» أجهزت على فكرة الزمن المطلق. فكلاهما نسبي بحت. وكما سنعرض في الفقرة 9.9 (سهم الزمن)، فإن فكرة نسبية الزمن وردت في دراسات «أرسطو»، قبل أكثر من 2200 عام من نسبية «آينشتاين».



(التي تأخذ بالاعتبار ليس فقط كثافة الشمس وحجمها إنما طاقتها أيضاً)، فإن قوة الثقالة تكون وفقاً للنسبية العامة أعلى مما تكون عليه وفقاً لتجاذبية «نيوتن» (أمر سنشير إليه في هذه الفقرة أيضاً).

يمكننا الآن (بعد أن عرضنا لبعض جوانب القوة الأولى من قوى الطبيعة الأربع) أن نعرف قوة الثقالة فيزيائياً. فوفقاً لقانون «نيوتن» الخاص بالقوة الثقالية، فإنَّ أي جسم يتأثر تجاذبياً (وبالتبادل) بأي جسم آخر بقوة تتناسب طرداً مع كتلة كل من الجسمين المتأثرين. كما أن هذه القوة تتناسب عكساً مع مربع المسافة بينهما. وبكلمة أخرى، فإن قوة الثقالة تتعاظم مع كتلتي الجسمين المتأثرين ومع تقاصر المسافة بينهما، والعكس صحيح أيضاً. فقوة الثقالة (أو التجاذب) بين الأرض وكوكب آخر تزيد مرتين إذا كان هنالك نجم آخر يبعد المسافة نفسها عن الأرض إنَّما تبلغ كتلته ضعف كتلة الكوكب الأول. أمَّا إذا اقترب الكوكب الأول من الأرض بمقدار نصف المسافة التي كانت تفصل بينهما، فإن قوة الثقالة تزداد بمقدار أربع مرات. والعكس صحيح هنا أيضاً. وكما هو معروف فإن قوة الثقالة هذه رسمت المدارات الإهليليجية لكواكب المنظومة الشمسية منذ أيام «كبلر» بدقة كبيرة (موضوع سنعرض له في الفصل التالي). ولا بد من التذكير هنا بأنَّ قوة الثقالة ولدت بدءاً من القوة الموحدة الكبرى مسلوبة الفعل عندما كان عمر الكون مساوياً إلى جزء من عشرة ملايين مليار مليار مليار (أو 10^{-43}) من الثانية، وعندما هبطت درجة حرارته إلى درجة حرارة «بلانك» أو مئة ألف مليار مليار (أو 10^{32}) درجة مطلقة أو كلفن، بآلية الانجماد في انتقال طوري أول، مر به الكون الوليد (يُرجع إلى نهاية الفقرة السابقة).

وعلى الرغم من أن قوانين حركة الأجسام والثقالة ترتبط تاريخياً باسم «نيوتن»، فإن أول من تحدث عن العلاقة التجاذبية بين الشمس وكواكب المنظومة الشمسية هو «كبلر» الذي وضع القوانين الثلاثة المعروفة باسمه، والتي رسمت حركة الكواكب حول الشمس، واقترح أيضاً (تطبيقاً لآراء «كوبرنيك» التي نقضت لأول مرة نظام «بطليموس» القائم على فكرة الكرات السماوية الثماني المتباعدة عن مركزٍ للكون تحتله الأرض)، أنَّ الكواكب ترسم في دورانها حول الشمس قطوعاً ناقصة (أي أشكالاً إهليليجية، وكان يتمنى «كبلر» أن تكون دائرية لأسباب جمالية). كما أنَّ أول من أجرى قياسات على حركة الأجسام هو «غاليلي» (4.2) الذي ذكر لأول مرة أن الضوء يتألف من جُسيمات (أطلق عليها «بلانك» اسم رزم كمومية، و«آينشتاين» اسم فوتونات، وذلك بعد قرابة 300 عام من استنتاج «غاليلي»). كما أن

(4.2) يمكن النظر إلى حياة «غاليلي» Galileo Galilie (1564–1642) يُرجع أيضاً إلى المقدمة على أنها مثال نموذجي لمأساة الصراع بين الإيمان والعلم وذلك عندما تُكبِّل السلطة التي كانت تمثل تاريخياً الإيمان بمفاهيم تعجز عن ادراك ما يكتشفه العلم. ومع أن مأساة «غاليلي» تختلف عن محنتي «فريدمان» و«بلانك» (يُرجع إلى الفقرة 2.1 والحاشية 4.1 في ما يتعلق بـ «فريدمان»، وإلى الحاشية 12.1 في ما يتعلق بـ «بلانك»)، فهي أمَرُّ وأدّهى، لأنها تشتمل على عنصر الظلم البشري الناجم عن ضيق الأفق والفهم الحرفي السطحي للأمور. ويقر تاريخ العلوم بالفضل لـ «غاليلي» في ما يتعلق بولادة العلم الحديث وتطوره (ولا بدَّ لنا في هذا السياق من التأكيد أنَّ الفضل في وضع أسس منهج البحث العلمي كما يطبق حالياً تقريباً يرجع إلى «الحسن بن الهيثم» في القرن التاسع الميلادي، سبع مئة سنة تقريباً قبل «غاليلي». لقد أخذ الغرب منهج «ابن الهيثم» ومنهج «الطغرائي» في الأندلس، وبنى عليهما نهضته العلمية منذ عصر النهضة حتى الآن، في حين أن العرب أصحاب هذا المنهج طلقوه منذ أيام «ابن الهيثم» وحتى الآن تقريباً). لقد بدأ غضب الكنيسة الكاثوليكية (على الرغم من تعصب «غاليلي» لكاثوليكيته) عندما استعمل «غاليلي» (في كتاباته العلمية) اللغة الإيطالية عوضاً عن اللغة اللاتينية (حيث كان أستاذاً في جامعة بادوا Padua، ويواظب على ارتياد الكنيسة ويحرص على حضور القداس). ويُحكى عنه أنَّ ذهنه غالباً ما كان يشرد وهو يستمع للكاهن، ويراقب في الوقت نفسه حركة اهتزاز المصباح بفعل تيار الهواء الذي كان يدخل من النافذة. واستنتج من اهتزاز المصباح الشوش (اللاانتظام) الذي كان يحدث في حركة المصباح الاهتزازية والذي كان ينتظم أحياناً، فيتسارع اهتزاز المصباح. فسار زملاؤه في الجامعات الأخرى على هذا الأسلوب (أي استعمال اللغة الإيطالية عوضاً عن اليونانية). وبالنظر إلى أنَّ «غاليلي» كان يعتنق آراء الفلكي الراهب «كوبرنيك» في أنَّ الكواكب تتحرك ←



«غاليلي» طور أول مقراب فلكي (بناء على دراساته للمقاريب التي كانت تستعمل عندئذ في سلاح البحرية التابعة للجيش الإيطالي)، يقرب مكبراً الكواكب ثلاثين مرة، ووصف المدارات الإهليليجية لكواكب المنظومة الشمسية. كما تجدر الإشارة هنا إلى أنَّ المؤرخين يجمعون على أنَّ نظرية الثقالة إنَّما ترجع أساساً إلى الكاهن الكاثوليكي الفرنسي «بيير غاسندي» Pierre Gassendi (1592-1655)، الذي كان يعارض فلسفة «أرسطو» و«ديكارت»، وعاش في الفترة التي كان فيها «غاليلي» يدرس حركة الأجسام. لقد أحيا «غاسندي» أفكار «ديمقريطس» (يرجع إلى الفقرة 2.1) عن الذرة atom، atome، وتحدث لأول مرة عن نظرية الثقالة وانجذاب الأجسام إلى الأرض. كما استنتج «غاسندي» (من دراساته ومشاهداته) أنَّ قوة الثقالة توجد في الكواكب أيضاً. وعلى ما يبدو، فإن «نيوتن» قد اطلع على أفكار «غاسندي»، وكان يمتدح آراءه بهذا الخصوص.

أما الأمر الثاني الذي لا بد من التنويه به، فيتعلق بالنسبية الخاصة لـ«آينشتاين» (يُرجع إلى الحاشية 3.2 من أجل تعريف النسبية العامة). فمن المعروف أن «آينشتاين» (الذي كان يعمل في سويسرا كموظف عادي في مكتب تسجيل براءات الاختراع، ولم يفلح في الحصول على وظيفة مدرس في أحد المعاهد التقنية السويسرية) نشر (دفعة واحدة) عام 1905 (وكان عمره آنئذ ستة وعشرين عاماً) ثلاث مقالات أكسبته الشهرة التي يتمتع بها. ولقد برهن في المقالة الأولى على إمكان الاستغناء عن فكرة الأثير في انتشار الضوء. وصاغ في المقالة الثانية ظاهرة الحركة البراونية في الماء للجُسيمات المعلقة به (التي كان قد اكتشفها عالم النبات الإسكوتلندي «روبرت براون» Robert Brown 1773-1858) بمعادلة أنيقة، برهن فيها على أن هذه الحركة تنجم عن اصطدام ذرات الماء اصطداماً عشوائياً بالجسيمات الدقيقة المعلقة به. أمَّا المقالة الثالثة (وعرفت بالنظرية النسبية الخاصة (5.2)) فعالجت موضوع الأبعاد الأربعة (المكان ذو الأبعاد الثلاثة والزمن) وألغت فكرة الزمن المطلق (انظر أيضاً الفقرة 9.9). وتجدر الإشارة إلى أنَّ «نيوتن» كان قد ألغى (بقوانينه الحركية) فكرة الموقع المطلق في المكان. ولقد تمكن «آينشتاين» عام 1915 من مواءمة ظاهرة انتشار الضوء والأبعاد الأربعة للنسبية الخاصة مع فعل الثقالة، ونشر نظرية النسبية العامة (يرجع إلى الحاشية 3.2).

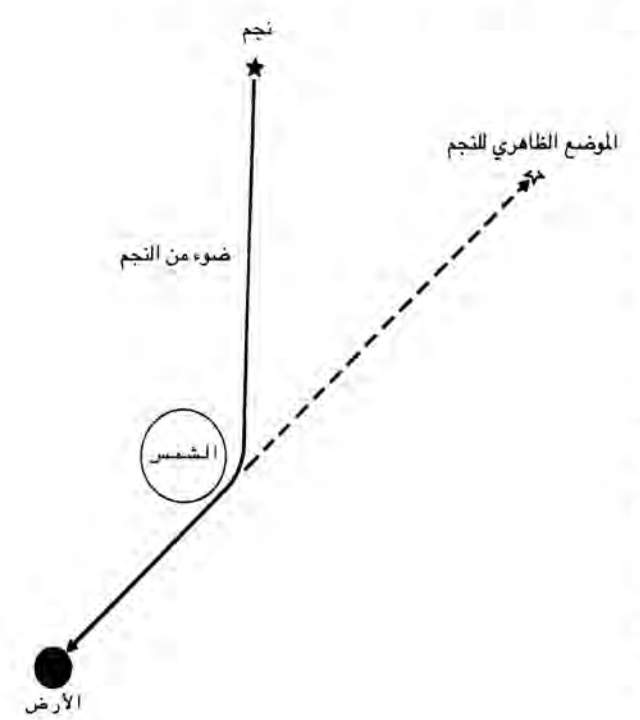
ولكن لا بد من الإشارة في هذا الصدد إلى أنَّ معظم أفكار النظرية النسبية كانت قد صيغت بمعادلات رياضية أنيقة من

←(خلافاً لتعاليم مدرسة أثينا وعلى رأسها «أرسطو») حول الشمس وليس حول الأرض (كما أسلفنا منذ قليل)، فلقد وحَّد هذان الأمران خصوم «غاليلي» ضده. وفي عام 1616، سافر «غاليلي» إلى روما محاولاً شرح أفكاره لرجالات الكنيسة البابوية، وإفهامهم أنها لا تتعارض مع ما جاء في الكتاب المقدس الذي يجب أن يفهم كرموز وإشارات. إلا أن الكنيسة الكاثوليكية (ودعماً لكفاحها ضد الآراء البروتستنتية) رفضت محاولات «غاليلي»، واعتبرت أنَّ إجاباته عن 1633 سؤالاً وجُهت له تتعارض مع تعاليم الكنيسة الكاثوليكية. فحكمت عليه بالسجن في منزله مدى الحياة. وفي عام 1623، أعاد «غاليلي» المحاولة من جديد لدى البابا الذي نصب مؤخراً على رأس الكنيسة الكاثوليكية، وكان صديقاً لـ«غاليلي». وعلى الرغم من اخفاقه في اقناع صديقه إلا أنه نجح في الحصول على ترخيص، نشر بموجبه (وبشروط قاسية) كتاباً ضمنه تعاليم «أرسطو» وأفكار «كوبرنيك». وقبل وفاة «غاليلي» عام 1642 بأربعة أشهر (حيث ظل سَجينَ منزله منذ عام 1616)، تم تهريب مخطوطة كتابه الثاني إلى ناشر هولندي، نشره بعنوان «خطابات Discorsi»، أنصف فيها «كوبرنيك» وقضى على سكونية كون «أرسطو»، التي عاد وأخذ بها خطأً (وعلى الرغم منْ كتاب «غاليلي» الثاني) «آينشتاين» بعد 260 عاماً تقريباً (كما ألمحنا إلى ذلك غير مرة). وفي عام 1992 أنصفت أخيراً الكنيسة الكاثوليكيته «غاليلي»، واعترفت علناً بخطئها نحوه. ومما يدعو إلى الاعجاب بهذه الشخصية الفذة، وإلى احترام إبداعه العلمي النادر وكفاحه الأخلاقي البطولي من أجل قناعاته العلمية، هو أنَّ «غاليلي» (وعلى الرغم من المحن التي مر بها) ظل حتى آخر لحظة من حياته متمسكاً بكاثوليكيته. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن «كوبرنيك» الراهب الكاثوليكي نشر كتابه عام 1514 تحت اسم مستعار خوفاً من غضب الكنيسة، ولم يرَ كتابه الخاص بدوران الكواكب إلا قبيل موته بساعات.

(5.2) تقوم نظرية النسبية الخاصة theory of special reltivity، theorie spéciale de relativité لـ«آينشتاين» على فكرة أنَّ على قوانين العلم أن تبقى هي نفسها لكل راصد يتحرك حركة حرة (غير مقيدة في المكان والزمن) وذلك بغض النظرَ عن سرعة الراصد الواحد. وتجدر الإشارة إلى أن النسبية الخاصة تمثل مفهوماً جديداً لمتصلة continuum المكان الزمن. فكما هي الحال في ميكانيك نيوتن، فإنَّ هنالك مجموعة من←



قبل عالم الرياضيات الفرنسي «هنري بوانكاريه» Henri Poincaré (1854-1912) الذي وضع أيضاً النظريات الخاصة بالتبولوجيا topology، topologie، التي اشتق منها المعادلات المرتبطة بظاهرة الشوش chaos (اللاانتظام) التي كانت قد سادت في الركام الكمومي قبيل ولادة الكون، والتي سنعرض لها في الفقرة 3 .2 .2. وعلى الرغم من أنَّ «بوانكاريه» نشر دراساته حول النسبية بعد أسابيع قليلة من نشر «آينشتاين» لمقالاته الثلاث في المجلد السابع عشر من المجلة الألمانية المعروفة «حوليات الفيزياء» Annals des Physik، وعلى الرغم من أنَّ نسبية «بوانكاريه» أتت على شكل معادلات رياضية، يُعَدُّ فهمها أكثر صعوبة من فهم أفكار «آينشتاين» ذات الصياغة الفيزيائية، فإنَّ معظم المؤلفين يعزو إلى «بوانكاريه» جزءاً مهماً من النظرية النسبية. كما تجدر الإشارة أيضاً إلى أنَّ «آينشتاين» لم يحصل على جائزة نوبل للفيزياء إلا عام 1921, وبعد استبعاده ثلاث مرات من قبل لجنة هذه الجائزة (وكان «بلانك»، كما سبق وذكرنا، قد دعم ترشيحه الرابع)، وذلك بعد أن تحققت بعثة بريطانية عام 1919 من أنَّ الشمس (وبسبب من كتلتها)، تجبر الضوء الوارد من نجم ما على الانحناء عندما يمر بقربها، فلا يظهر النجم في موقعه الحقيقي (الشكل 2 .2). ولا يمكننا التحقق من ذلك في الأيام العادية لأنَّ ضوء الشمس يطغى على ضوء النجم، فيطمسه. إنَّما يمكن التأكد من ذلك في حال حدوث كسوف كلي للشمس. وهذا ما قامت به البعثة البريطانية التي ذهبت إلى إفريقية الغربية حيث حدث الكسوف في ذلك العام (1919)، وحددت موقع النجم، فأتى متوافقاً مع حسابات «آينشتاين».



الشكل 2 .2. مخطط ترسيمي يوضح انحناء الضوء الصادر عن نجم ما بسبب تأثير كتلة الشمس (أحد البراهين الأساسية على صحة النسبية العامة لـ « آينشتاين ») . إن هذا الانحناء للضوء (في متصلة المكان ـ الزمن) هو السبب في رؤية النجم من الأرض في غير موقعه الحقيقي ، كما أن هذه الحقيقة أزالت التناقض بين الحركة الفعلية لكوكب عُطارد وبين الحسابات القائمة على أساس ثقالة « نيوتن » (انظر الحاشية 2،6) (الشكل عن Hawking,1997 ، المرجع 6 ، ص . 35) .

ولم تبرهن النسبية على صحة قوانين «نيوتن» الحركية (والثقالية منها على وجه التخصيص) فحسب، كما أنَّها لم تُزل التناقض البسيط (6،2) بين حركة الكوكب «عُطارد» Mercury، Mercure الفعلية وبين ما تتنبأ به ثقالة «نيوتن» فقط، بل تمخضت عن وضع المعادلة الشهيرة: $E=mc^2$ التي أشرنا إليها غير مرة، والتي تمنع أيَّ جسم من أن يتحرك

←التحولات الرياضية تقيم علاقة واضحة بين إحداثيات المتصلة مكان-زمان (التي تستعمل من قبل راصدين مختلفين) على نحو تبدو فيه قوانين الطبيعة هي نفسها في ما يتعلق بهؤلاء الراصدين. ولكن إضافة إلى ذلك، فإنَّ تحولات المتصلة مكان-زمان في النسبية الخاصة، تمتلك خاصة أساسية لا توجد في الميكانيك النيوتني، ذلك أنها تعالج سرعة الضوء كثابت لا يتغير بغض النظر عن سرعة الراصد [10]. بناءً على ذلك، فإنَّ الجملة (التي تحتوي على جُسيمات تتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء) توصف بأنَّها نسبوية relativistic، rélativistique، ويتوجب أن تعامل وفقاً لقواعد النسبية الخاصة، وليس وفقاً لقواعد ميكانيك « نيوتن».

(6،2) من المعروف منذ القرن الماضي أن عُطارد يغير اتجاه مداره أقل بقليل من عشر دقائق قوسية (575 ثانية قوسية) كل مئة عام (تساوي الثانية←



بســرعة تفوق سرعة الضوء. ووفقاً لهذه المعادلة، فإنَّ كتلة الجسم تزداد مع ازدياد سرعة حركته. فإذا ما بلغت هذه السرعة افتراضياً 000 270 كيلومتر في الثانية (أي 90 في المئة من سرعة الضوء)، فإنَّ كتلة الجسم تتضاعف. وهذا يعني أنَّه يستوجب صرف طاقة أكبر لتحريك الجسم. وكما كنا عرضنا في الحاشيتين 6.1 و 8.1، فإنَّه يمكن للمادة أن تتحول في شروط معينة إلى طاقة، والعكس صحيح، أي أن تتحول الطاقة إلى مــادة (كما يحدث في حالات الانشطار والاندماج النوويين، أي انشطار البلوتونيوم واليورانيوم -235 في القنبلة الذرية مثلاً، واندماج هدرجينين ثقيلين أو دوتــريوم في جو الشمس، ليتشــكل جُســيم ألفا أو نواة الهليوم، أو كما يحدث في المســرعات الضخمة عند توليد جُســيمات عنصرية ذات عمر نصف قصير جداً). كما لا بدمن التأكيد هنا أن «بلانك» تنبأ بالطاقة المختزنة بالنواة منذ عام 1907 (يرجــع إلى الحاشــية 12.1).

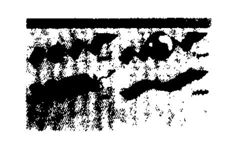
وغالباً ما يشار (في ما يتعلق بإلغاء النسبية لموضوع الزمن المطلق) إلى مثال التوأمين اللذين تشكلا من بيضة واحدة (فخصائصهما الوراثية تكون كلها واحدة)، استوطن أحدهما ساحل البحر، واستقر الآخر في ذروة جبل عالٍ جداً. إنَّ التوأم الساحلي سيبقى فتياً، في حين أنَّ أخاه الجبلي سيهرم بسرعة أكبر. وربما لا يتعرف أحدهما الآخر في نهاية العمر. وسيغدو الفرق بين عمر الأخوين مذهلاً وخيالياً إذا ما أُتيح لأحدهما (افتراضياً) أن ينطلق بمركبة فضائية تقارب سرعتها سرعة الضوء. فعند عودة هذا الأخير إلى الأرض، سيكتشف أن أخاه قد شاب وشاخ، في حين أنه هو ما يزال يافعاً. فالزمن في النسبية (الخاصة والعامة) شخصي (أي نسبي) بحت، والزمن المطلق لا وجود له. أما في ما يتعلق بـ «نيوتن» نفسه وسقوط التفاحة، فإن فكرة الثقالة لم ترد إلى ذهنه عند سقوط التفاحة على رأسه (كما يُروى أحياناً)، بل ربما تكون قد انبثقت عن تأمله سقوط التفاحة على الأرض.

وأخيراً، قد يكون من المفيد التذكير بأنَّ رسيل القوة الثقالية هو الغرافيتون (من ثقالة gravity) (يرجع إلى الفقرة السابقة، وإلى الشكل 2.1)، وله في ميكانيك الكم تدويم أو سبين يساوي 2 (ذو قطبين متماثلين ومتناظرين)، ويتبدَّى بين الكواكب (بين الأرض والشمس مثلاً) على شكل موجات ثقالية، يمكن قياسها، وتتجلى بأبسط تعبير لها بدوران الأرض والكواكب الأخرى في المنظومة الشمسـية حول الشـمــس. بيد أنَّ جُســيم رسيل القوة الثقالية (الغرافيتون، أو الأمواج الثقالية) على درجة من الضعف (وفي المسافات الكبيرة على وجه التخصيص) بحيث لا يمكن رصده وبالمقابل، فإن الأمواج الثقالية تتميز بمداها هائل الأبعاد (وليس شدتها)، وتجاذبيتها المستديمة.

3.2. القوة النووية الشديدة

كما كنا عرضنا في نهاية الفقرة 1.2 من هذا الفصل، فإن القوة النووية الشديدة strong nuclear force، force nucléaire forte، وُلدت منفصلة عن القوتين النوويتين الضعيفة والكهرطيسية، وذلك بعد انفصال قوة الثقالة عن القوة الكبرى الموحدة للقوى الطبيعية الأربع، والتي كانت سائدة عند بدء ولادة الكون، إنَّما كانت معطلة بسبب عدم وجود

←القوسية جزءاً من 600 3 من الدرجة القوسية التي تساوي 60 دقيقة قوسية). إن ثقالة نيوتن توصلت إلى رقم يساوي 532 ثانية قوسية بفرق يساوي 43 ثانية قوسية في القرن الواحد وذلك بين القياس الفعلي والحسابات القائمة على قوانين نيوتن. وبتعبير آخر، فإن اتجاه مدار عُطارد يعود فعلاً إلى وضعه الأصلي كل 000 225 عام، في حين أن ثقالة نيوتن تتنبأ بزمن قدره 000 244 سنة. ولكن عندما أضاف «آينشتاين» في حساباته عام 1915 تأثير طاقة الحقل الثقالي للشمس (وليس فقط الكتلة التي يقتصر عليها تثاقل نيوتن)، تم إيجاد تفسير لهذا الفرق. ويحكى عن «آينشتاين» نفسه أن فرحه بهذا الاكتشاف كان عارماً واستمر أياماً.



المادة لتبدي هذه القوة تأثيرها فيها. لقد ولـدت هذه القوة إذاً نتيجة انتقال طـوري تجمدت فيه، وانفصلت عن القوة الثالثة المتبقية وذلك عندما هبطت درجة الحرارة من مئة ألف مليار مليار مليار (أو 10^{32}) كلفن أو درجة حرارة «بلانك» إلى ما يقارب مليار مليار مليار (أو 10^{27}) درجة مطلقة أو كِلفن. وكان عمر الكون عندئذ جزءاً من مئة مليون مليار مليار مليار (أو 10^{-35}) من الثانية.

ومن المعروف أنَّ القوة النووية الشديدة تمسك الكواركات في كل من البروتون والنترون ضمن نواة الذرة بفعل رسيل هذه القوة المتمثل بالغليون، أو الملاط النووي (يرجع إلى الشكل 2.1) ذي التدويم أو السبين 1 (أحادي القطب أو الاتجاه). ويمتاز ناقل هذه القوة (الغليون) بخاصة أساسية غريبة، تتمثل بعدم إمكان عزل الكوارك الواحد عن الكواركين الآخرين، سواء في البروتون أو في النترون. وبالمقابل، فإنَّه يمكن عزل النترونات عن البروتونات. ويحدث في المفاعل النووي انطلاق أكثر من نترون من كل ذرة يورانيوم -235, حيث يتحد أحد هذه النترونات بذرة يورانيوم-235 ليشكل اليورانيوم-236 عديم الاستقرار، الذي ينشطر بقوة شديدة إلى نواتي عنصرين أقل رقماً ذرياً وإلى عدد من النترونات، يشطر كل واحد منها نواة يورانيوم -235. ويتضخم بسرعة فائقة شلال هذه الانشطارات محرراً الطاقة الهائلة التي تخصص الانفجار النووي. كما يمكن للنترون أن يتحد باليورانيوم -238 محولاً إياه إلى بلوتونيوم. إنَّ هذه السيرورات ذات الأحداث المتلاحقة مثال لإمكان تحرر النترونات نتيجة الانشطار النووي الذي تنبأ بطاقته المختزنة «بلانك» عام 1907, ولاحظه «شادويك» في مطلع الثلاثينات، وفُجِّرَ بقنبلتين ذريتين في صيف 1945 (يُرجع إلى الحاشية 6.1)، ويُعَدُّ تطبيقاً للمعادلة $E=mc^2$ حيث تتحول المادة إلى طاقة (يُرجع إلى الحاشية 8.1).

وكما أنَّه يمكن تحويل المادة إلى طاقة، فإنه يمكن تحويل الطاقة إلى مادة استناداً إلى معادلة «آينشتاين» المشار إليها آنفاً. وهذا ما حدث عند ولادة الكون وفقاً للطراز المعياري، أو الانفجار الأعظم، وهذا ما يحدث أيضاً في المسرعات الضخمة، كمسرع المركز الأوربي للبحوث النووية Center Européen de Recherche Nucleaire (NREC) قرب جنيف، الذي ورد ذكره في الفصل السابق (يُرجع إلى الحاشية 15.1)، وتبلغ طاقته 400 جيف Gev (أو 400 مليار إلكترون فولط) (7.2). إن هذه الطاقة تعادل (بتقسيم الرقم السابق على ثابتة «لودفيغ بولتزمان» Ludwig Boltzmann 1844-1906, انظر الحاشية 3.3 التي تساوي 0.00008617 إلكترون فولط لكل درجة حرارة مطلقة أو كِلفن، يرجع أيضاً إلى الحاشية 12.1)، إنَّ هذه الطاقة تعادل إذاً 4.65×10^{15} درجة مطلقة، الدرجة التي كان فيها عمر الكون يساوي جزءاً من مئة مليار (أو 10^{-11}) من الثانية، أي اللحظة التي انشطرت فيها القوة النووية الضعيفةعن القوة الكهرطيسية نتيجة حدوث الانجماد الذي تم في الانتقال الطوري الثالث. وكما كنا عرضنا في ما سبق (المرجع 6 بالإنكليزية، الصفحة9)، فإن إعادة توحيد القوى الأربع للطبيعة (كما كانت عند ولادة الكون وفي أثناء حدوث الانفجار الأعظم)، تحتاج إلى بناء مسرع يبلغ حجمه حجم المنظومة الشمسية، ذلك أنَّ طاقة هذا الانفجار كانت تزيد على طاقة «بلانك» (أي عشرة مليار مليار مليار أي 10^{28} إلكترون فولط)، وتعادل درجة حرارة «بلانك» (أو مئة ألف مليار مليار مليار، أي 10^{32} درجة مطلقة أو كلِفن، أي 10^{28} مقسوم على 0.00008617 أو ثابتة «بولتزمان»). **وكما كنا عرضنا**

(7.2) يأمل المسؤولون عن المركز الأوربي للبحوث النووية CERN (قرب جنيف) أن يبدأ المُصادم الكبير (الذي يجري بناؤه حالياً) عمله عام 2006 وستبلغ طاقته 14 تيف TeV (أي 14 ألف مليار إلكترون فولـط، أي 14×10^{12} إلكترون فولط. تيف: t من tera أو 10^{12} أو ألف مليار، و e من electron، و v من volt. انظر «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **14** العدد **5** مايو (آيار) 1998 الصفحة 60).



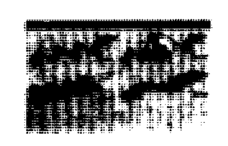
في الفصل السابق (الفقرة 1 . 4 على وجه التخصيص)، وكما سنرى في التطور الفيزيائي الكيميائي من هذا الكتاب، فإنَّ الكون مر تدريجياً بمرحلتين متداخلتين إنَّما متميزتان؛ كانت الطاقة تسود المرحلة الأولى التي لم يتجاوز أجلها إلا أجزاء بالغة الضآلة من الثانية، أُنقذ خلالها (وبسرعة هائلة) قسم لا بأس به من الطاقة بتحوله إلى مادة، ولم يكن بالإمكان إنقاذ القسم الآخر من براثن الأنتروبية (قوة ضياع الطاقة، يرجع إلى الحاشية 1) التي بدد فعلها هذا القسم بالتآزر مع خاصة فناء المادة بتصادمها مع المادة المضادة لها.

2 . 4. القوة النووية الضعيفة

وُلدت القوة النووية الضعيفة weak nuclear force، force nucléaire faible (يُرجع إلى نهاية الفقرة 2 . 1) عند انفصالها عن القوة الكهرطيسية حيث كان عمر الكون يساوي جزءاً من مئة مليار (أو 10^{-11}) من الثانية، وهبطت درجة الحرارة إلى مليون مليار (أو10^{15}) درجة مطلقة، وذلك في أثناء حدوث الانتقال الطوري الثالث، وانفصال هاتين القوتين بالانجماد، وانشطار إحداهما عن الأخرى. وتتبدى هذه القوة في الجُسيمات ذات السبين $1/2$ (كالإلكترونات، والكواركات ذوات القطبين المتخالفين فراغياً)، ويحتاج الجُسيم منها إلى تدويره دورتين كاملتين كي يعود إلى وَضعه البدئي. ومن المعروف أنَّ هذه القوة مسؤولة عن ترابط الذرة خارج النواة (أي علاقة الإلكترونات ببعضها من جهة وبالنواة من جهة أخرى). إنَّ رسل هذه القوة (يرجع إلى الفقرة 2 . 1 وإلى الشكل 2 . 1 أيضاً) هي الجسيمات W^+، و W^-، و Z ذات الكتل الثقيلة والتي تعادل كتلة كل واحدة منها طاقة 100 جيف (Gev) أو مئة مليار (أو 10^{11}) إلكترون فولط، ويمكن أن تتشكل إذاً في درجة حرارة تساوي مليون مليار (أو 10^{15}) كلفن (أي 10^{11} فولط مقسوم على ثابتة «بولتزمان»، أي 0.00008617). وهذا ما حدث عندما كان عمر الكون يساوي جزءاً من مئة مليار(أو 10^{-11}) من الثانية (يُرجع إلى نهاية الفقرة 1.2 وإلى البند رابعاً من الفقرة 4.1).

وتتمثل القوة النووية الضعيفة بالتفاعل المعروف بالتلاشي الإشعاعي radioactive decay، أو radioactive disintegration، désintégration radioactive الخاص بجُسيمات بيتا (يُرجع إلى الحاشية 1 . 11) الذي درسه بالتفصيل «إنريكو فيرمي» (يُرجع إلى الحاشية 1 . 15). ويمكن للتلاشي الإشعاعي بيتا أن يكون سلبياً (بيتا سلبي) فينطلق إلكترون، ويمكن أن يكون موجباً (بيتا موجب) فينطلق بوزيترون. وسنعرض فقط للتلاشي الإشعاعي بيتا السلبي بسبب شيوع هذه الظاهرة في تلاشي النشاط الإشعاعي الطبيعي للنظائر المشعة الطبيعية. ففي التلاشي الإشعاعي بيتا، يفقد النترون جسيم بيتا (الذي له شحنة الإلكترون السلبية) ويتحول إلى بروتون [(8.2)]. ومن المعروف أنَّ للقوة النووية الضعيفة مدى قصيراً جداً. وكما كنا عرضنا سابقاً (يرجع إلى الحاشية 1 . 15)، فإن الباكستاني «محمد عبد السلام» والأمريكي «ستيفن واينبرغ» قد اقترحا عام 1967 (وعلى نحو مستقل) وجود الجُسيمات W^+ و W^- و Z ذات التدويم أو السبين 1 (ذات القطب الواحد) التي تعمل كرسل للقوة النووية الضعيفة، وبرهنا على إمكان توحيد هذه الجُسيمات مع الفوتون،

(2 . 8) يتحول النترون (الذي يتألف من كواركين تحتيين dو كوارك فوقي u) في تلاشي بيتا السالب إلى بروتون، وذلك نتيجة تحويل الجُسيم W كواركاً تحتياً d إلى كوارك فوقي u، في حين أنَّ النترينو المرافق لهذا الجسيم يتحول إلى إلكترون (جُسيم بيتا). ولقد تبين(حتى قبل إنتاج الجُسيم Z) أنَّ هذا الجُسيم يحدث تياراً حيادياً، حيث يسبب ارتطاماً عنيفاً بين نترينو وإلكترون، إذ يدفع الجسيم Z بالنترينو ليرتطم بالإلكترون فيخرجه عن مداره. إنَّ الإلكترون المقتلَع يرتطم بإلكترونات أخرى، الأمر الذي يؤدي إلى توليد التيار الحيادي الذي لا أثر له على الأرض، إنما يزود النجوم المستعرة بالطاقة التي تحدث فيها أقوى الانفجارات الكونية. وكما كنا عرضنا في الحاشية 11.1فهنالك تلاشٍ موجب لبيتا، حيث يتحول البروتون إلى نترون نتيجة انطلاق بوزيترون.



ومن ثم إمكان توحيد هذه القوة مع القوة الكهرطيسية. وفي عام 1984, تمكن فريق «كارلو روبيا» في CERN من إنتاج الجُسيمين W و Z (يرجع إلى الحاشية 1 . 14).

2 .5. القوة الكهرطيسية

كما كنا عرضنا في ما سبق (يُرجع إلى نهاية الفقرة 2 . 1)، فإن القوة الكهرطيسية electromagnetic force، force éléctromagnétique وُلدت أثناء تبرد الكون، حيث تجمدت مع القوة النووية الضعيفة في أثناء الانتقال الطوري الثالث، وانشطرت منفصلة عن تلك القوة (القوة النووية الضعيفة) وذلك عندما هبطت درجة حرارة الكون إلى مليون مليار درجة مطلقة أو كلِفن، وكان عمر الكون آنذاك يساوي جزءاً من مئة مليار من الثانية. وكما هو معروف، فإن هذه القوة تعمل في التفاعلات الكيميائية وفي انتشار الضوء، وذات تأثير في الجزيئات والجُسيمات عديمة الشحنة. إنَّ رسيل قوتها هو الفوتون ذو الكتلة المعدومة والذي له تدويم أو سبين يساوي 1, أي وحيد الاتجاه أو القطب (يُرجع إلى الشكل 2 . 1).

ومن المعلوم أن عدد قوى الطبيعة كان قبل عام 1864 خمسة. ولكن دراسات الفيزيائي الإسكوتلندي «جيمس كلرك مكسويل» James Clerk Maxwell (1831-1879) أوضحت عام 1864 أنَّ القوة المغنطيسية والقوة الكهربائية هما من طبيعة واحدة، وتعدّان مسؤولتين عن التفاعلات الكيميائية وانتشار الضوء، فاقترح توحيد هاتين القوتين بقوة واحدة عرفت بالقوة الكهرطيسية. وكان هذا أول توحيد للقوى يحدث في تاريخ الفيزياء. وكما كنا ذكرنا، فإنَّ التوحيد الثاني أتى به عام 1973 (بعد مرور أكثر من مئة عام على التوحيد الأول) «محمد عبد السلام» و«ستيفن واينبرغ» عندما وحدًا القوة الكهرطيسية والقوة النووية الضعيفة (يُرجع إلى الفقرة السابقة، والحاشية 1 . 15). وكما كنا عرضنا غير مرة، فإنَّ ظروف ولادة الكون وحدت القوى الأربع للطبيعة في قوة واحدة كبرى مسلوبة التأثير لعدم وجود ما تؤثر به (أي المادة)، وكانت تتبدى بأوتار، وأغشية، وحويصلات لها أحد عشر بعداً.

إنَّ القوة الكهرطيسية تفوق (في ما يتعلق بالجُسيمات المشحونة) قوة الثقالة عدداً هائلاً من المرات. ذلك أنَّ شدة هذه القوة بين إلكترونين متجاورين تفوق التجاذب الثقالي بينهما بمليون مليار مليار مليار (أو 10^{42}) مرة تقريباً. ولكن من المعروف أنَّ هذه القوة تجاذبية إذا كان للجُسيمين شحنتان متعاكستان، وهي تنافرية إذا كانت الشحنتان متماثلتين. كما أنَّ شحنة الإلكترون السلبية وشحنة البروتون الموجبة هما المسؤولتان عن دوران الإلكترون حول النواة، أمر يشبه كثيراً دوران كواكب المنظومة الشمسية حول الشمس بسبب فعل الثقالة التجاذبي.

وكما كنا عرضنا في حال التلاشي الإشعاعي الخاص بجُسيمات بيتا (يرجع إلى الفقرة السابقة، وإلى الحاشية1 . 11)، فإنه يمكن أيضاً لإلكترون في ذرة عنصر مشع غير مستقر أن ينتقل من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة (بعكس ما يحدث عند إصدار جُسيمات بيتا المشار إليه في الحاشية 1 . 11). إنَّ الإلكترون المنجذب إلى النواة يسبب إصدار فوتون ضوئي (ينجم عن الطاقة المتحررة بسبب جذب النواة) يمكن رصده إما بالعين المجردة (إذا كان طول موجة هذا الفوتون يقع ضمن أطوال أمواج الطيف المرئي من قبل العين البشرية)، وإما بإرجاع إيونات الفضة في بروم الفضة إلى فضة معدنية، تظهر على شكل نقط أو عصائب سود (تقنية التصوير الإشعاعي الذاتي، يُرجع إلى الحاشية 1 . 11)، أو في أفلام التصوير بالأشعة السينية وغيرها.

وتجدر الإشارة أخيراً إلى أنَّ شحنة الذرة أو الجزيء مسؤولة (كما سنعرض إلى ذلك تفصيلاً في التطور الفيزيائي



الكيميائي من هذا الكتاب) عن انحلال الحموض، والأسس (القواعد)، والأملاح في الماء بسبب جزيئاته المستقطبة من جهة، ولتأين بعض هذه الجزيئات إلى إيونات موجبة (بروتونات الهدرجين التي تتخلى عن إلكتروناتها)، وإلى إيونات سالبة (جذور الهدركسيل، التي تأسر إلكترونات الهدرجين المشار إليها [10]) من جهة أخرى.

وكما سنرى في التطور الفيزيائي الكيميائي والتطور البيولوجي، فإنّ خاصة الذرات والجزيئات المشحونة المنوه بها أعلاه من جهة، وخاصتي الماء (كون كل جزيء من الماء مستقطباً، أي يمتلك ناحية سلبية وناحية أخرى موجبة، وتأين عدد قليل من جزيئات الماء إلى إيونات موجبة - بروتونات الهدرجين - وإيونات سالبة - جذور الهدركسيل) من جهة أخرى، إن هذه الخصائص الثلاث لعبت دوراً محورياً في ظهور الحياة على كوكب الأرض. وتجدر الإشارة في هذا الصدد، وكما سنفصل ذلك لاحقاً (انظر الفقرة 4.6 الحاشية 3.6)، فلقد تفرعت عن القوى الطبيعية الأربع أربع قوى (أو روابط)، تعرف بالقوى، أو الروابط اللاتكافؤية. وهذه القوى، أو الروابط اللاتكافؤية، هي: القوة أو الرابطة الهدرجينية، والقوة أو الرابطة الكهربائية الساكنة، والقوة أو الرابطة المكارهة للماء، وأخيراً قوة أو رابطة فان درفالس. وكما سنرى أيضاً في القسم الخاص بالتطور البيولوجي، فإن هذه القوى أو الروابط مسؤولة عن السيرورات والتفاعلات البيولوجية كافة.

يمكننا إذاً أن نتلمس (بالنظر إلى أن القوى أو الروابط اللاتكافؤية الأربع التي حكمت وتحكم سيرورات الحياة هي تفرع حتمي للقوى الطبيعية الأربع، التي حكمت وتحكم تطور الكون والمادة اللاحية) وجود نوع من التناظر بين العالمين اللاحي والحي من جهة، ووجود تطور موجه وذي معنى من جهة أخرى. ولقد بدأ هذا التطور بتحول جزء من الطاقة إلى مادة بحدوث الانفجار الأعظم، وبولادة القوى الأربع للطبيعة (نتيجة تبرد الكون الوليد)، التي حكمت تطور الكون والمادة اللاحية، فنشأت عنها القوى أو الروابط اللاتكافؤية الأربع المسؤولة عن نشوء الحياة، وسيرورات تطورها. وبفعل هذه القوى، سادت الذرات والجزيئات الأكثر كفاية وأداء على الذرات والجزيئات الأقل كفاية وأداء. فالكون، منذ ولادته، يسير من الأبسط إلى الأعقد من حيث البنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية وفاعلية من حيث الوظيفة. وكانت الغاية الحتمية لهذه السيرورات، أو لهذا التطور (الذي لا مكان للمصادفة فيه)، قيام حياة ذكية يكون فيها الإنسان خليفةَ الله في الأرض. ﴿وَإِذْ قالَ رَبُّكَ لِلْمَلائكَةِ إِنِّي جاعِلٌ فِي الأَرْضِ خَلِيفَةً قالُوا أَتَجْعَلُ فِيها مَنْ يُفْسِدُ فِيها وَيَسْفِكُ الدِّماءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قالَ إِنِّي أَعْلَمُ ما لا تَعْلَمُونَ﴾ [سورة البقرة: **2/ 30**].



الفصل الثالث

بنية الكـون

" The riddle of life, the riddle of death, the enchantment of genius , of unadorned beauty, these are ours."Wept the beautiful Lara over the body of her lover, Dr. Zhivaco. "But the small problems of practical life , things like the reshaping of the planet, these things, no thank you, they are not for us. "

Boris Leonidovitch Pasternak (1890-1960), in "Dr. Zhivaco. " . Nobel Prize 1958

« إنَّ لغز الحياة، إنَّ لغز الموت، إنَّ سحر العبقرية، إنَّ الافتتان بالجمال البريء، هذه هي أشياؤنا». انتحبت الجميلة «لارا» فوق الجسد المسجى لعشيقها الدكتور جيفاكو، لتضيف: «أما المعضلات الصغيرة لواقع الحياة، أمور كوضع تشكيل جديد لكوكب الأرض، إنَّ هذه الأشياء، لا شكراً، ليست أشياءنا».

«بوريس ليونيدوفتش باسترناك» (1890-1960)، في «الدكتور جيفاكو»، جائزة نوبل للآداب عام 1958.

3.1. مقدمة عامة

عرضنا في الفصلين السابقين الأدلة التي تشير إلى ولادة الكون وفقاً للطراز المعياري، أو ما أصبح يعرف بنظرية الانفجار الأعظم. كما بينا كيف رافق هذه الولادة، وخلال أجزاء من الثانية الأولى من عمر الكون الوليد، انبثاق القوى الأربع للطبيعة انبثاقاً تدريجياً بدءاً من قوة كبيرة متفردة لا وظيفية. ولقد حدث ذلك نتيجة تبرد الكون، وحدوث ثلاثة انجمادات أدت إلى ثلاثة انتقالات طورية، انفصلت في كل انتقال طوري منها قوة من القوى الأربع. ولقد تمكن الباحثون من التوصل إلى هذه النتائج الاستقرائية بتقنيات عديدة أهمها دراسات ميكانيك الكم (فيزياء الجُسيمات العنصرية)، وما يتمخض عن المسرعات العملاقة من قياسات تجريبية لسيرورة تحويل الطاقة إلى مادة، أو تحويل المادة إلى طاقة (الاندماجات الجُسيمية، والانشطارات النووية). وكذلك الأدلة التي أمكن استنتاجها من معطيات المسابير والمقاريب والمختبرات الفضائية. إنَّ معارفنا عن الكون تأتي إذاً من دراسات تناولت النهايتين القصيتين للمادة: النهاية الصغرية المتمثلة بالجُسيمات العنصرية (ميكانيك الكم) وأقصاها صغراً طول «بلانك» (10^{-33} من السنتي متر)، والنهاية الكبرية المتمثلة بالكواكب والمجرات والكون نفسه (ثقالة «نيوتن» والنسبية العامة)، وأكثرها كبراً نصف قطر الكون، أو 10^{24} كيلومتر (طول «بلانك» متبوعاً باثنين وستين صفراً). وبدهي (وكما أكدنا غير مرة) أنَّ أحداً لم يقس قياساً مباشراً

مراحل ولادة الكون ونشوء القوى الطبيعية الأربع، لا من حيث الزمن ولا من حيث درجة الحرارة. لقد تم استنتاج معظم الأرقام التي وردت في الفصلين السابقين (ما عدا الثوابت الطبيعية) على نحو غير مباشر. وتتراكم باستمرار الأدلة لتبرهن (المرة تلو الأخرى) على صحة هذه الاستنتاجات، وعلى سلامة الطراز المعياري ودقته، سواء على مستوى ميكانيك الكم (مثلاً بكموم «بلانك» وارتياب «هايزنبرغ » واستبعاد «باولي»، وكثير غيرها)، أو على مستوى الكون (دراسات «كوبرنيك» و«كبلر» و«غاسندي» و«غاليلي» التي جسدتها قوانين «نيوتن»، وأكملتها رياضياً دراسات «بوانكاريه»، وفيزيائياً دراسات «آينشتاين» فيما يعرف بنظرية النسبية العامة).

وقد يكون من المفيد (ونحن بصدد تكون الكواكب والمجرات)، أن نعرِّف بعض التعابير الخاصة ببنية الكون، كالمبدأ الكوني Cosmologicl Principle، Principe Cosmologique، والكثافة الحرجة Critical Density، Densité Critique، والتوازن الحراري Thermal Equilibrium، Equilibre Thermique، وقانون (نسبة) «هَبْل» Hubble's Law، Loi de Hubble، وحد «شندراسيخار» Chandrasekhar's Limit، Limite de Chandrasekhar.

1.1.3 المبدأ الكوني

تنص فرضية المبدأ الكوني Cos mological Principle, Principe Cosmologique على أنَّ الكون متساوي الاتجاهات isotropic، isotrope، ومتجانس homogenous، homogène في ما يتعلق بخصائصه كافة. ولقد بدت هذه الفرضية بديهية منذ أيام «كوبرنيك»، وأطلق عليها اسم المبدأ الكوني الفيزيائي الفلكي البريطاني «ادوارد آرثر ميلن» Edward Arthur Milne (1896-1950).

ولقد وُضع هذا المبدأ لينطبق على المجرات كافةً، ويقتضي بأنَّ على الراصد الموجود في مجرة نمطية (المجرة التي تتحرك محمولة بالجريان الكوني العام، ولا تتحرك بأي آلية خاصة بها)، أن يرى المجرات الأخرى تتحرك وفقاً للطراز نفسه من السرعة وبغض النظر عن المجرة التي «يمتطيها» هذا الراصد. وكنتيجة رياضية مباشرة لهذا المبدأ، فإنَّ على السرعة النسبية لمجرتين من المجرات أن تتناسب مع المسافة التي تفصل إحداهما عن الأخرى. وهذا هو بالضبط ما توصل إليه «هَبْل» فيما بعد. ولا بد من التأكيد هنا أن المبدأ الكوني يكون صحيحاً فقط عندما ننظر إلى الكون على أنَّه أكثر رحابة من المسافات التي تفصل بين «تعنقدات»، أو حشود المجرات (أو ما يعرف عامة بالأبراج)، والتي يجب ألاّ تقل عن مئة مليون سنة ضوئية (أو ما يقارب ألف مليار مليار أو 10^{21} كيلو متر). كما و يُفترض في المبدأ الكوني (وفقاً للنسبية العامة) ألاّ تفوق سرعة أي مجرة من المجرات سرعة الضوء، أي 300 ألف كيلو متر في الثانية.

ولقد أتت أكثر البراهين أهمية على صحة المبدأ الكوني من دراسة الإشعاع الثمالي (المتبقي) للكون. وكما كنا عرضنا في الفصل الأول (يرجع إلى الفقرة 1.3.2 على وجه التخصيص)، فإنَّ توزع الإشعاع الكوني الثمالي واحد في الاتجاهات كافة، كما أنَّ شدة هذا الإشعاع، وكذلك طول موجته، هي نفسها أينما كان الراصد فوق جو الأرض. فالإشعاع (سواء من حيث شدته أو طول موجته)، وكذلك درجة الحرارة، متساوي الاتجاهات، ومتجانس عموماً. وهذا ما برهن عليه «بنزياس» و «ويلسون» في ستينيات القرن الماضي (يرجع إلى الفقرة 1.3). ولا بد من الإشارة هنا إلى أنَّ هذا التساوي، وهذا التجانس العام يرجع (ولو جزئياً) إلى فعل الثقالة الذي أدى إلى هذا التوزع المتجانس للمجرات بعد مليار عام من بدء ولادة الكون، علماً بأنَّه قد رصدت مؤخراً (يرجع إلى الفقرة 1.3.3 على وجه

التخصيص) فروق في درجة الحرارة وكثافة تعنقدات المجرات (أو الأبراج أو الجزر الكونية) من رتبة تقل عن ثلاثين جزءاً من مليون من الدرجة المطلقة من حيث الحرارة، ولا تزيد عن جزء من مئة ألف جزء من حيث الكثافة.

2.1.3. الكثافة الحرجة

تعرف الكثافة الحرجة Critical Density، Densité Critique للكون بأنَّها الكتلة الكونية الدنيا التي يتطلبها الافتراض بأنَّ توسع الكون سيتوقف في النهاية، وسيستتبع هذا التوقف تقلص مادة الكون، لتعود إلى الحالة التي كانت عليها لحظة حدوث الانفجار الأعظم (يرجع إلى الشكلين 1.1 و 1.4). فإذا كانت الكثافة الكونية (أو طاقة التثاقل) تفوق الكثافة الحرجة (أو الطاقة الحركية لمادة الكون) -وتعرف نسبة الطاقة الأولى إلى الطاقة الثانية بأوميغا-، فإنَّ الكون سيصبح محدود الأبعاد، وسيعاني ارتصاصاً أعظم، يتبعه انفجار أعظم، ثم ارتصاص فانفجار، وهكذا، أي إن قيمة أوميغا تكون أكبر من واحد. أمَّا إذا كانت الكثافة الكونية أقل من الكثافة الحرجة، فإنَّ هروب المجرات سيكون متسارعاً، كما أنَّ تزايد نصف قطر الكون سيستمر إلى ما لانهاية، أي إن قيمة أوميغا تكون أقل من واحد (يرجع إلى الشكلين 1.3 و 1.4). وعندما تتكافأ الكثافتان الكونية والحرجة، فإنَّ هروب المجرات سيستمر إنَّما بمعدل ثابت، أي إن قيمة أوميغا تساوي واحداً تماماً (يرجع إلى الشكلين 1.2 و 1.4). وهذا ما يشبه (مع بعض التحفظ) العلاقة بين فعل الثقالة وقوة اندفاع جسم، يقذف من الأرض بقوة تدفعه بسرعة تقل أو تزيد عن 11.2 كيلو متراً في الثانية، أو تساوي هذه السرعة (يُرجع إلى الفقرة 2.2). فإمَّا أن يعود الجسم بفعل الثقالة ويسقط على الأرض (الحالة الأولى)، أو أن ينطلق في الفضاء متحرراً من فعل الثقالة (الحالة الثانية). أو أن يبقى معلقاً في الفضاء (حيث تتساوى قوة القذف وفعل الثقالة، الحالة الثالثة). وتجدر الإشارة إلى أنَّ التوازن بين الكثافتين الكونية والحرجة (أو نسبة طاقة التثاقل إلى الطاقة الحركية لمادة الكون، أو ما يعرف، كما سبق وأشرنا، بأوميغا - يُرجع إلى شروح الأشكال 1.1 إلى 1.4)، يشبه موازنة هرم هائل الحجم كي يستقر بشكل مقلوب. إنَّ عامل التوازن أو دقة النسبة بين الطاقتين هي جزء من مليار مليار جزء (يُرجع إلى المقدمة).

ويُعمد عادة من أجل تقدير الكثافة الكونية تقديراً مبسطاً جداً إلى حساب عدد البروتونات والنترونات (الجُسيمان النوويان) في مادة الكواكب أو المجرات. ولقد وجد أنَّ الغرام الواحد من مادة المجرات يحوي 6.03×10^{23} (عدد أفوكادرو) بروتون ونترون. وتكافئ هذه القيمة (في ما يتعلق بالكثافة الحرجة الحالية) ما يقارب 2.7×10^{-6} جُسيماً نووياً في السنتي متر المكعب الواحد، أو 0.0027 جُسيماً نووياً في اللتر الواحد من مادة الكون. هذا، وتجدر الإشارة إلى أنَّ عدم ارتصاص الكون على نفسه (وفقاً للشكل 1.1) بسبب فعل الثقالة وعدم انفلات مادته (وفقاً للشكل 1.3) بسبب مبدأي الاستبعاد لـ«باولي» والارتياب لـ«هايزنبرغ»، إنَّما يعود إلى أنَّ فعل الثقالة يتفانى مع دوران الإلكترونات حول نواة الذرة، وحركة الكواركات داخل النواة. وتشير بعض القرائن (المشتقة من طرز رياضية فيزيائية) إلى أنَّ الكون سيستمر بالتوسع المنفعل قرابة 40 مليار سنة أخرى. كما لا بد من التأكيد أنَّه لو كان معدل التوسع المنفعل الذي عاناه الكون بعد الثانية الأولى من ولادته بالانفجار الأعظم أقل بواحد من مئة مليون مليار (أي أقل من 10^{-17}) من توسعه الذي حدث، لشرع بالارتصاص على نفسه زمناً طويلاً قبل أن يبلغ حجمه الحالي. هذا ويمكن لمن يرغب في الاطلاع على رياضيات حساب الكثافة الحرجة الرجوع إلى الصفحتين 169, و 170 من المرجع 10). وقد يكون من المفيد في هذا الصدد أن نشير إلى أنَّ مادة الكون (عندما نثرت للمرة الأولى) كانت متجانسة التوزع على مستوى الكون ككل، أو على المستوى الكِبري (macro)، لكنها كانت غير متجانسة تماماً على المستوى الصِغري (micro). فلقد كانت هنا وهناك نقاط أكثر كثافة من غيرها (يمكن تسميتها الجزر

الكونية الصِغرية، وبلغت فيها فروق الكثافة جزءاً من مئة ألف جزء). ولعبت كل نقطة من هذه النقاط دور «نواة تبلور»، فانجذبت إليها المواد المحيطة بها (بفعل الثقالة)، وبدأ على هذا النحو تشكل الجزر الكونية الكِبرية، أو بداءات المجرات.

3.1.3. التوازن الحراري

مما لا لبس فيه أنَّ التوازن الحراري Thermal Equilibrium، Equilibre Thermique أدّى دوراً مهماً في أثناء ولادة الكون وبعد ولادته. فكما كنا عرضنا غير مرة، فإنَّ درجة الحرارة التي سبقت الانفجار الأعظم كانت تزيد عن عشرة مليار مليار مليار (أو 10^{37}) درجة مطلقة أو كلفن، وهبطت هذه الدرجة لحظة الانفجار الأعظم (اللحظة 10^{-43} ثانية) إلى درجة حرارة «بلانك» (أو مئة ألف مليار مليار، أو 10^{32}) كلفن، حيث تجمدت (بسبب هذا التبرد المفاجئ) قوة الثقالة، وانفصلت عن بقية القوى في أول انتقال طوري. وعندما انخفضت درجة الحرارة إلى مليار مليار مليار (أو 10^{27}) كلفن، تجمدت القوة النووية الشديدة وانفصلت أثناء انتقال طوري ثانٍ عن بقية القوى. ولدى هبوط درجة الحرارة إلى الدرجة 10^{15} تجمد (في أثناء الانتقال الطوري الثالث) مجموع القوة النووية الضعيفة والقوة الكهرطيسية. وكان يحدث مع كل انتقال طوري انكسار للتناظر الفائق (كما يحدث عند تبريد الماء - وهو متناظر ومتجانس - دون درجة الصفر المئوية، فتبدأ بلورات الجليد بالتشكل، وينكسر تناظر الماء أو تجانسه، ويصبح مؤلفاً من طورين لا تناظر بينهما: طور مائي سائل، وطور جليدي صلب). وعندما انخفضت درجة الحرارة دون الدرجة 10^{15}، انفصلت القوة النووية الضعيفة عن القوة الكهرطيسية. واستمرت درجة حرارة الكون بالانخفاض منذ ثلاثة عشر مليار عام(1.3) حتى وصلت حالياً إلى قرابة 2.7 كلفن. ولقد كان للتوازن الحراري أثر بالغ في تكون مادة الكون أثناء الفترات الأولى من عمر الكون. ومن المعلوم أنَّ فعل التوازن الحراري يرتبط مباشرة بدرجة حرارة العتبة (أو اختصاراً حرارة العتبة) threshold temperature، température de seuil، التي ترتبط بدورها بطبيعة كل جُسيم من الجُسيمات العنصرية. فلكل جُسيم عنصري حرارة عتبة نوعية تخصصه.

وتعرف حرارة العتبة لجُسيم عنصري ما بأنَّها الدرجة التي يتم فوقها إنتاج الجُسيم بوساطة ما يعرف بإشعاع الجسم الأسود(2.3) إنتاجاً وفيراً. وبتعبير آخر، إذا ما ارتفعت درجة حرارة جملة ما فوق عتبة تشكل الجُسيم، فإنَّ هذا الجُسيم سيتكون نتيجة تحول الطاقة إلى إشعاع الجسم الأسود. ويمكن حساب درجة حرارة العتبة لجسيم ما بتقسيم الطاقة في معادلة «آينشتاين»(أي E في المعادلة: $E=mc^2$) على ثابتة «بولتزمان»، أي 0.00008617 وكما كنا عرضنا في ما سبق

(1.3) كما كنا عرضنا في الفصل الأول (يرجع إلى الحاشية 9.1 على وجه التخصيص)، فإنَّ عمر الكون يحدد بناء على ثابتة هَبْل (انظر الفقرة 4.1.3 التالية). وتشير الملاحظات التي تمت مؤخراً على النجوم الحمر العملاقة الأكثر تألقاً في تعنقد (برج) مجرة «العذراء» Virgo إلى أنَّ عمر الكون يساوي 12-14 مليار عام (انظر الفقرة التالية 4.1.3).

(2.3) إنَّ إشعاع الجسم الأسود radiation du corps noir, black-body radiation، هو الإشعاع الذي يمتلك الكثافة الطاقية نفسها في كل مجال من مجالات طول موجة هذا الإشعاع. ونذكر (كمثال على إشعاع الجسم الأسود) الإشعاع الذي يصدر عن جسم يمتص حرارة التسخين بأكملها. إنَّ الإشعاع في كل جملة تصل إلى حالة التوازن الحراري هو إشعاع جسم أسود. ويعود الفضل في إيجاد معادلات توزع إشعاع الجسم الأسود في الأسبوع الأخير من نهاية القرن التاسع عشر إلى «بلانك». فوفقاً لتوزع «بلانك»، فإنَّ طاقة جملة ما (تتألف كلياً من إشعاع جسم أسود)، ترتفع في كل مجال من مجالات طول موجة الإشعاع ارتفاعاً حاداً جداً مع تزايد طول موجة الإشعاع، حتى تبلغ قمة معينة تعود بعدها لتنخفض من جديد انخفاضاً حاداً. فإشعاع الجسم الأسود هو بالتعريف كمية الإشعاع التي تصدر في الثانية الواحدة عن السنتي متر المربع من سطح ماصٍّ كلياً للحرارة في أي طول موجة من أطوال موجات الإشعاع. إنَّ إشعاع الجسم الأسود يتميز بتوزع محدد تماماً للطاقة بالنسبة لطول ←

(يرجع إلى الحاشية 1 . 12)، فإنَّ تحويل الحرارة إلى طاقة يتم (بطبيعة الحال) بمضاعفة درجة الحرارة بثابتة «بولتزمان» [3.3] (يرجع أيضاً إلى الحاشية 1 . 12). وبـدهي أنَّ مقدار E (الطاقة) هو ناتج جداء كتلة الجُسيم المعني بمربع سـرعة الضوء (300 ألف كيلومتر في الثانية). يمكننا القول إذاً إنَّ مادة جُسيم عنصري ما تسلك تقريباً في درجة حرارة العتبة الخاصة بذلك الجُسيم سلوك الفوتون الذي يتألف كلياً من طاقة وليس له أي كتلة.

بناءً على ما تقدم، فإنَّ حالة التوازن الحراري تستدعي أن يكون عدد كل نمط من أنماط جُسيمات عنصرية معينة (التي تـكـون درجـة حـرارة الـعـتـبـة الـتـي تميزها أقل من الدرجة الفعلية لحرارة الجملة كي لا تتكون الجُسيمات المقابلة - أو الفوتونات-والجُسيمات المضادة تكوناً غزيراً بدءاً من إشعاع الجسم الأسود)، تستدعي إذاً أن يكون العدد مساوياً تقريباً في حالة التوازن الحراري لعدد الفوتونات. فإذا كان عدد الجُسيمات أقل من عدد الفوتونات، سيتم تكون هذه الجُسيمات بسرعة تفوق سرعة فنائها، فيتزايد حينئذ عددها. أمَّا إذا كان عدد الجُسيمات يفوق عدد الفوتونات، فإنَّ معدل فنائها سيفوق سرعة تكونها، ويتناقص عندئذ عددها. وعلى هذا النحو، فإنَّ التناسب بين أعداد أنماط الجُسيمات، يبقى ثابتاً تقريباً كنتيجة أساسية للتوازن الحراري. وبدهي أنَّ هذا التناسب هو الذي يحدد تكون أو فناء الجُسيمات المعنية. إنَّ التوازن الحراري هو نمط من أنماط استتباب homeostasis، homeostase الجملة في شروط هذا التوازن، وينجم عن ظاهرة تعرف بالتلقيم الراجع feed-back mechanism، mécanisme rétro-action. إنَّ تناقص أعداد الجُسيمات يحرض على تكونها، فإذا ما تجاوز العدد المتكون عتبة معينة، فإنَّ الإفناء سيتغلب على التكون، ويهبط العدد (أو التناسب) من جديد، وهكذا. إنَّ الأمر المثير حقاً أنَّ هذا التوازن (الذي هو أداة أساسية من أدوات الطبيعة) يحكم عادة أعداد الكائنات الحية كلها كتنوع بيولوجي، ويسيطر على فيزيولوجية هذه الكائنات. كما أنَّ هذا الاستتباب وهذا التلقيم الراجع قد نُقلا على نحو ما من أحد أطوار تـكون المادة إلى بيولوجية الكائنات الحية كما سـنعرض لها في التطور البيولوجي.

ونذكر، كمثال على هذا الاستتباب في ما يتعلق بنشوء الكون، حالة هذا الكون عندما أصبح عمره مساوياً لجزء من ألف من الثانية، حيث هبطت درجة حرارته إلى ستة مليارات كلفن (أو 6×10^9 درجة مطلقة). إنَّ عدد الالكترونات والبوزيترونات يجب أن يكون قد ساوى آنذاك عدد الفوتونات. ويمكن اعتبار الكون بأنه كان يتألف في تلك المرحلة، وبصورة أساسية، من فوتونات وإلكترونات وبوزيترونات، وليس من فوتونات فقط (الحالة التي تتحقق في حال كون إشعاع الجسم الأسود يفوق الشروط السائدة في درجة حرارة تفوق ستة مليارات درجة مطلقة أو كلفن). وهكذا، فإنَّ درجة حرارة العتبة للفوتون تزيد على هذه الدرجة. إنَّ هذا المثال يوضح على نحو مبسط الدور الذي أدّاه التوازن الحراري، ودرجة حرارة العتبة، وإشعاع الجسم الأسود في نشوء مادة الكون. كما أنَّ فعل التوازن الحراري يشرح بيسر الدور الحاسم والمميز الذي أدّته الفوتونات (كطاقة وكضوء، جنباً إلى جنب مع درجة الحرارة) في نشوء مادة الكون. إنَّ إشعاع الجسم الأسود، يمثل العلاقة المباشرة بين الطاقة (الفوتون) ودرجة الحرارة من جهة، وبين تكون المادة من هذه الطاقة من جهة أخرى (وكما عرضنا غير مرة، فإنَّ معادلة «آينشتاين $E=mc^2$ تحدد العلاقة بين الطاقة عامة والكتلة).

←معين من أطوال موجات الإشعاع. وهكذا، فإنَّ إشعاع الجسم الأسود منوط حصراً بدرجة الحرارة وليس بأي معلم آخر، وإنَّ توزع «بلانك» يصلح للجمل كافةً بغض النظر عن طبيعة مادة الجملة.

(3.3) «لودفيغ بولتزمان» Luidwig Boltzmann (1844-1906)، فيزيائي نمساوي، أدّى دوراً أساسياً في تطوير نظرية حركية الغازات. كما أسهم مع الفيزيائي الأمريكي «ويلارد غيبس» Willard Gibbs (1833-1903, مؤسس الكيمياء الفيزيائية) في تأسيس الميكانيك الإحصائي الحديث. توفي «بولتزمان» منتحراً بسبب ما يعتقد (ولو جزئياً) خلافات فلسفية مع بعض معاصريه.

4.1.3. قانون وثابتة (هَبْل)

كما كنا عرضنا في الفقرة 1.3.1 فإنَّ «هَبْل» لاحظ عام 1929 أنَّ توسع الفضاء بين مجرة ما والمجرات الأخرى، يتزايد مع بعد هذه المجرة عن بقية المجرات، كما أنَّ سرعة هروب هذه المجرة تتزايد مع تعاظم ابتعادها. وكما كنا مثلنا هذه المجرات وتعنقداتها كبقع غير متجانسة الشكل والأبعاد على سطح نفاخة، فإنَّ تباعد هذه البقع وسرعة هذا التباعد سيتناسب (لدى النفخ في النفاخة) مع المسافات التي تفصل بعضها عن بعض. ولذا، فلقد اتضح لـ «هَبْل» أنَّ المجرات البعيدة تهرب (بفعل ما تبقى من قوة الانفجار الأعظم) بعيداً عن مجرتنا (كنقطة معيارية) بسرعة تتناسب مع بعدها عن هذه المجرة، فالأبعد عن مجرتنا ينأى بسرعة أكبر. وكما كنا عرضنا أيضاً، فإنَّ «هَبْل» وضع خريطة لكون يتألف من أربع وعشرين مجرة، حيث اعتبر المسافة متحولاً والسرعة تابعاً، فاكتشف هَبْل خطاً مستقيماً وضعه بصيغة قانون، عرف بقانون «هَبْل»• , Loi de Hubble, Hubble's Law فوفقاً لهذا القانون التجريبي، فإنَّ سرعة ابتعاد المجرة (التي يمكن قياسها بفعل «دوبلر-فيزو»، أو انزياح الطيف المرئي للضوء من البنفسجي الأزرق إلى الأحمر)، تتناسب مع المسافة التي تفصلها عن مجرة درب التبانة. ويمكن تعيين هذه المسافة باستعمال عدد من العلامات، كالسيفيدات cepheides، céphéides (أو القَيفاويات التي هي نجوم متغيرة، ترتبط دورية ظهورها ارتباطاً مباشراً بشدة لمعانها الذاتي الداخلي المنشأ)، ومناطق الهدرجين المتأين، وبقايا المستعرات الفائقة (أو السوبرنوفا) supernova، ومؤخراً النجوم الحمر العملاقة الأكثر تألقاً في تعنقد (برج) مجرة العذراء كما سنعرض بعد قليل. ولقد اتضح (كما كنا عرضنا غير مرة) أنَّه كلما كانت المجرة أكثر بعداً عنا، كلما كانت سرعة هروبها أكبر. ولقد تم اشتقاق ما يعرف بثابتة «هَبْل» (أو ثابتة تناسب «هَبْل») بدءاً من هذا القانون. فثابتة «هَبْل» Rapport de Hubble's, Hubble Ratio's هي النسبة بين السرعة الظاهرية لهروب المجرة، والمسافة التي تفصلها عن مجرتنا درب التبانة. وتتراوح ثابتة «هَبْل» (أو ثابتة التناسب) ما بين 50 و 100 كيلو متر لكل مليون فرسخ نجمي megaparsec (انظر من أجل تعريف الفرسخ النجمي الحاشية 5.3). وكما كنا عرضنا سابقاً (يرجع إلى الحاشيتين 9.1 و 1.3)، فلقد حددت ثابتة «هُبْل» مؤخراً بالمقدار 45 كيلومتراً لكل مليون فرسخ نجمي. وبناءً على هذه القيمة، فلقد قدر عمر الكون (منذ الانفجار الأعظم حتى الآن) بخمسة عشر مليار عام. بيد أنَّ دراسة أجريت عام 1998 من قبل فريق كندي وأمريكي [11] على أقرب مجموعة من المجرات الإهليليجية (البيضوية الشكل) في تعنقد (برج) «العذراء» Virgo والقوس Fornax، قيَّدت بعض الشيء ثابتة «هَبْل». إنَّ هذين التعنقدين يؤديان دوراً مركزياً في تعيين ثابتة «هَبْل»، أي في تحديد معدل توسع الكون، ومن ثم في تقدير عمر هذا الكون. ولقد استنتج فريق البحث هذا أنَّ ثابتة «هَبْل» تبلغ 77 ± 8 كيلومتراً لكل مليون فرسخ نجمي. وبناء على هذه الثابتة، وإذا افترضنا أنَّ الكون ذو كثافة منخفضة (أي إنَّه بحالة توسع دائم، يرجع إلى الشكلين 3.1 و 4.1)، فإنَّ عمر الكون يصبح (وفقاً لأبسط نظريات علم الكون) 12 إلى 14 مليار عام (أو 13 ± 1.6 مليار عام).

• قانون «هَبُل» : $V=H_0d$، حيث تمثل v سرعة ابتعاد مجرة ما عن المجرات الأخرى، و H_o ثابتة هَبْل، و d المسافة التي تفصل هذه المجرة عن درب التبانة [(انظر المرجع رقم 88 (الفصل التاسع) : Coles, P., Nature **398**، 288-289 (1999) .

11. Harris, W. E. et al., Natur **395** , 45-47(1998).

5.1.3. حَدّ « شندراسيخار»

تحدد بعض المراجع وصول الشاب الهندي «سوبراهمانيان شندراسيخار» Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-) عن طريق البحر من الهند إلى إنكلترا عام 1928. في حين أنَّ بعضها الآخر يحددها بالعام 1931. وبغض النظر عن عدم أهمية الدقة المفرطة في وصول «شندراسيخار» إلى إنكلترا، فلقد أتى هذا الشاب الجامعي قاصداً «كمبردج» ليدرس على الفلكي البريطاني السير «آرثر أدينغتون» الذي اهتم كثيراً بنظرية النسبية العامة (يُرجع إلى الفقرة 1 . 2). وعلى ما يبدو، ففي أثناء سفر «شندراسيخار» بالباخرة، طور هذا الشاب مفهوماً يتعلق بكتلة النجوم مقارنة بكتلة الشمس. وتبلور هذا المفهوم فيما بعد بما أصبح يعرف بحَدّ «شندراسيخار» Limite de Chardrasekhar, Chandrasekhar's Limit وبغية تعرف هذا الحد عن كثب، لا بد من الإشارة باقتضاب إلى مصير بعض النجوم بعد أن تستنفد كل وقودها (الهدرجين خاصة).

فحتى مطلع القرن العشرين، لم يرد بذهن الفيزيائيين وجود مادة كونية تفوق كثافتها مادة المنظومة الشمسية التي تبلغ عادة بضعة غرامات في السنتي متر المكعب. ولكن مع تبلور ميكانيك الكم (وعلى وجه التخصيص كموم «بلانك» وارتياب «هايزنبرغ» واستبعاد «باولي»)، أدرك الفيزيائيون أنَّ الإلكترونات (التي تتحرك حركة دائمة حول النواة بمسارات تحددها القوة الكهرطيسية) تبني، بسبب مبدأي الاستبعاد والارتياب، ضغطاً يحول دون ارتصاصها على النواة. وهكذا يحافظ النجم على حجمه، فلا يتوسع نتيجة المبدأين السابقين، ولا يرتص بفعل ثقالته الذاتية. ولكن عندما يستنفد النجم كامل مخزونه من الوقود، يدخل في حالة من التنكس degeneration، dégénerescence الإلكتروني، فيُخترق عندئذ مبدأا الارتياب والاستبعاد، ويحتل أكثر من إلكترون واحد (ثلاثة إلكترونات مثلاً) المكان ذاته، وتحقق هذه الإلكترونات (في حال تنازعها على موقع واحد) سرعة اندفاع واحدة. وهذا هو التنكس الإلكتروني الذي يسبب زيادة كبيرة في سرعة الإلكترونات، قد تصل سرعة الضوء (ولكن لا يمكن أن تتجاوزها وفقاً للنسبية العامة). إنَّ هذه السرعة للإلكترونات، تجردها من قوة الضغط الذي كانت تمارسه، وكان يعاكس قوة الثقالة، فتسود هذه القوة، ويرتص النجم على نفسه. إنَّ هذا الارتصاص لا ينجم إذاً عن ظاهرة حرارية (كما هي الحال في السيرورة الرئيسة لمعظم النجوم)، إنَّما بسبب الضغط الناجم عن التنكس الإلكتروني. ويؤدي هذا الارتصاص إلى تحول النجم إلى ما يعرف بالقزم الأبيض dwarf white، nain blanc «البارد»، علماً بأنَّ درجة حرارة جوفه تبلغ مليون كلفن أو درجة مطلقة. ومع أنَّنا سنعرض إلى الأقزام البيض في الفقرة 3 . 4 من هذا الفصل، فإنَّ مادة القزم الأبيض ليست غازية بل صلبة، ذلك أنَّ بلورة عملاقة تحتل جوف النجم، وتبلغ كثافتها عشرات الأطنان لكل سنتي متر مكعب واحد. وكما سنرى أيضاً، فإنَّ الفيزيائي الروسي «لف دافيدوفيتش لانداو» Lev Davidovich Landau (1908-1968), والذي فاز بجائزة نوبل للفيزياء عام 1962)، لفت النظر عام 1932 إلى إمكان تحول النجم إلى نجم نتروني (بارتصاص نتروناته وبروتوناته بعضها على بعض)، حيث يتقلص قطره إلى عشرة كيلومترات تقريباً، وتصبح كثافته مئات ملايين الأطنان للسنتي متر المكعب الواحد، وتسقط قطعة النقود على سطحه (بسبب فعل الثقالة) بسرعة تصل إلى نصف سرعة الضوء (أي إلى 000 150 كيلو متر في الثانية).

لقد برهن «شندراسيخار» رياضياً على أنه يمكن للنجم أن يتحول إلى قزم أبيض إذا كانت كتلته تبلغ 44 . 1 من كتلة الشمس، أو أقل من ذلك. ففي كتلة من هذا الحجم تحقق الإلكترونات سرعة تقارب سرعة الضوء، فتصبح عاجزة عن بناء ضغط يقاوم قوة الثقالة، فيرتص النجم على نفسه، ويتحول إلى قزم أبيض «بارد» يبلغ قطره عشرات آلاف الكيلومترات (عوضاً عن 000 960 1 كيلومتر تقريباً، حيث يبلغ قطر الشمس 080 293 1 كيلومتراً)، وتبلغ كثافته قـرابـة مئـة طـن لـكـل سـنـتـي متر مـكـعب واحد. هذا ويمكن صياغة حد «شندراسيخار» على النحو التالي: إنَّ حد شندراسيخار هو حد الكتلة الخاص بالقزم الأبيض. فإذا ما تجاوزت كتلة النجم الكتلة الحرجة (التي هي 44، 1 من كتلة الشمس)، فإنَّ ثقل الطبقة السطحية (الخارجية) للنجم تسبب تنكس مادته الغازية (التنكس الإلكتروني والنتروني)، بحيث يـعـجـز ضـغـط المادة عـن الـتـوازن مـع قـوة الـثـقـالة الذاتية للنجم، فيرتص على نفسه متحولاً إلى نجم نتروني. كما أنَّ «شندراسيخار» تنبأ بارتصاص أشد، قد يحول كتلة النجم إلى نقطة لا نهائية الصغر. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أنَّ «هوكنغ» استنتج رياضياً عام 1973 (وبعد صياغة فرضية «شندراسيخار» بزمن ليس بالقصير) أنَّ ثقوباً سوداً قد تشكلت [6] (في إثر حدوث الانفجار الأعظم)، يبلغ قطر الواحد منها جزءاً من عشرات آلاف المليار من السنتي متر (أي 10^{-13} سنتي متر أو ما يعرف بـ «الفيرمي»). ومع أنَّ حجم الثقب الأسود الواحد كان يساوي حجم النترون، فإنَّ وزنه يبلغ عشرات ملايين الأطنان. وقد يكون لهذا الاستنتاج علاقة باستنتاجات «شندراسيخار» التي لم يستنكرها أستاذه السير «آرثر أدينغتون» فحسب، وإنما «آينشتاين» أيضاً، الذي حاول البرهان على استحالة ذلك الأمر الذي يناقض ظاهرياً مفهوم الطراز المعياري (الانفجار الأعظم) لنشوء الكون، هذا الطراز الذي تحول إلى نظرية راسخة ذات قبول شامل. ومع أنَّ «شندراسيخار» تخلى فيما بعد عن آرائه الصحيحة بسبب رفضها عن جهل من قبل فيزيـائيي عصره (وعلى رأسـهـم أسـتاذه واسع النفوذ السـير «آرثـر أديـنـغـتـون»)، فقد منح جائزة نوبل للفيزياء عام 1983 تـقـديـراً لـبـحوثه في نطاقات أخرى من الفيزياء الفلكية.

2.3. الأنتروبية والشوش وتكون المجرات

كان من الممكن عدم إقحام القارئ في بعض المفاهيم الفيزيائية التي قد تبدو غامضة لولا الدور الذي أدّته هذه المفاهيم (كتعبير عن ظواهر طبيعية حدثت أثناء تكون الكون، وتحدث باستمرار)، والذي يفرض علينا ضرورة الإشارة إليها بكثير من التبسيط. ومع أنَّ مفهوم الأنتروبية الذي يشكل جزءاً أساسياً من المبدأ الثاني للترمودديناميك، ويُعدُّ مقياساً دقيقاً للزمن (الذي وضعه مع المبدأ الأول الفيزيائي الفرنسي «سادي كارنو»1796-1832، يرجع إلى الحاشية1)، يعود إلى فيزياء القرن التاسع عشر، ويرتبط مدرسياً (كلاسيكياً) ارتباطاً مباشراً بدرجة حرارة الجمل، والغازية منها على وجه التخصيص، فإنَّ أهمية مفهوم الشوش (اللاانتظام) كفرع من علوم الفيزياء [الذي استُنبط أصلاً من قبل الرياضي الفرنسي «هنري بوانكاريه» 1854-1912، نتيجة دراساته في التوبولوجيا Topology، Topologie، التي هي علم التبدلات الضئيلة المتلاحقة، التي تؤدي في النهاية إلى تبدل رئيس واضح، كما يحدث في أثناء تكون الجنين منذ الإخصاب حتى التكون الكامل. والشوش يصبح عندئذ مجموع التبدلات التي تعتمد اعتماداً أساسياً على عامل واحد، وينتهي إلى نتيجة غالباً ما يصعب التنبؤ بها. كما أنَّ «بوانكاريه» (كما عرضنا غير مرة) وضع نظرية النسبية العامة على أساس رياضي]. إن أهمية مفهوم الشوش إذاً لم تتضح إلا في العقود القليلة الفائتة. وفي حين أنَّ الأنتروبية (التي هي كما عرفناها في الحاشية 1 نزوع جزيئات جملة ما إلى التبعثر العشوائي، الأمر الذي يؤدي إلى نقصان الطاقة المفيدة أو

المنتجة للعمل أو الطاقة الحرة كما تعرف فيزيائياً، كميل الغاز المضغوط في أسطوانة ما للانفلات والتبعثر، أو نزوع الماء للسيلان من مكان عالٍ إلى مكان منخفض)، في حين أن الأنتروبية إذاً هي تعبير عن حالة الفوضى في جملة من الجمل، وترتبط مباشرة بدرجة حرارة الجملة، فإنَّ الشوش (من الناحية الفيزيائية) هو نظام رديء جداً لتوزع طاقة جملة ما على جمل جزئية ذات أبعاد متباينة. وتتمثل ظاهرة الشوش عموماً بتغيرات طفيفة تحدث في مكونات جملة ما، ويكون أحد هذه المكونات معتمداً اعتماداً كبيراً على الحالة البدئية للجملة. ويتزايد تأثير هذه التغيرات في عدم تجانس الجملة المعنية مع تزايد التغيرات نفسها، بحيث تصل الجملة إلى حالة يصعب التنبؤ بها (إنما يمكن إخضاعها في بعض الحالات -كما سنرى- لمعالجات فيزيائية رياضية). ومع أنَّ الأنتروبية توصل الجملة في نهاية المطاف إلى حالة توازن فيتوقف تزايدها، فإنَّ الشوش يستمر نظرياً (بسبب معلمٍ ما أشد تأثراً من المعالم الأخرى) إلى ما لانهاية. وقد يوصل الشوش الجملة إلى حالة يسودها نظام ظاهري مؤقت، ولكنها تعود لتصبح شوشية من جديد، وهكذا.

ويمكن مبدئياً تمثيل ظاهرة الشوش بحركة ورقة نبات تطفو على سطح النهر. ومع أنَّ موضع الورقة النهائي سيتوقف على عدد كبير (وقد يكون لا نهائياً) من العوامل، فإنَّ هذا الموضع سيعتمد بصورة أساسية على قوة اندفاع الماء، وعلى نحو أقل أهمية على العوامل التي تؤثر في حركة الورقة، بدءاً من حركة جزيئات الماء المجهرية، إلى مستوى مجرى النهر، إلى الأجسام الثابتة تقريباً في مجرى النهر (كفروع النباتات وأغصانها)، إلى الأجسام المتحركة، بدءاً من الأجسام الأخرى الطافية على سطح النهر، إلى الأسماك والكائنات الحية الموجودة في النهر. ولكن تبقى سرعة جريان الماء هي العامل الأكثر تحديداً لموضع الورقة النهائي. ومع أن الأنتروبية تتوقف عن التزايد عندما تصل درجة حرارة النهر إلى حالة تجانس وتوازن، فإنَّ الشوش لن يوصل الورقة الطافية إلى حالة توازن مستقر إلاَّ إذا افترضنا أنَّ كل تلك المعالم ثابتة (ماعدا معلماً واحداً هو سرعة جريان الماء مثلاً)، ولكن لن نكون عندئذ بصدد جملة شوشية، بل بصدد دراسة حركية جزيئات الماء. **فصحيح أنَّ الأنتروبية والشوش يتقاسمان فوضى جملة ما، إلاَّ أنَّ الأنتروبية تمثل سوء علاقات جزيئات الجملة وعدم انتظام مواضع هذه الجزيئات، ويمثل الشوش سوء توزع الطاقة على مكونات تلك الجملة.** فالأنتروبية ترتبط بالحركية العشوائية لمكونات جملة ما، في حين أنَّ الشوش يرتبط بعشوائية توزع الطاقة على مكونات هذه الجملة. وعلى الرغم من وجود علاقة وثيقة بين الحركية والطاقة، فإنَّ أمر معالجة هذه العلاقة يقع خارج حدود هذا الكتاب. يمكننا بعد هذا التعريف المطول والمبسط لظاهرتي الأنتروبية والشوش، أن نعرض لكل منهما من حيث الدور الذي لعبته في نشوء الكون وانتظام مادته.

1.2.3. الأنتروبية

كما كنا عرضنا غير مرة، فإنَّ الأنتروبية (التي هي مقياس دقيق للزمن وتوزيع سيئ للمادة) يشكل جزءاً من المبدأ الثاني للترموديناميك (التحريك الحراري)، وتتعلق (كما وضع أسسها «سادي كارنو» في الربع الأول من القرن التاسع عشر، يُرجع إلى الحاشية 1) بحالة جزيئات جملة ما(غازية أصلاً) في درجة حرارة معينة. وترتبط أنتروبية جملة ما بعلاقة عكسية بالطاقة الحرة المفيدة (المنتجة للعمل) لتلك الجملة. وعلى اعتبار أنَّ الأنتروبية هي معيار الفوضى لمكونات جملة ما، فكلما ازدادت هذه الأنتروبية، تناقصت الطاقة الحرة لتلك الجملة والعكس غير صحيح، ذلك أنَّ الأنتروبية لا تتناقص أبداً، بل يمكن أن تتوقف عن التزايد وذلك عند وصول الجملة إلى حالة توازن. وكما ذكرنا غير مرة أيضاً، فإنَّ المبدأ الثاني للترموديناميك يقتضي نزوع الجمل نزوعاً تلقائياً إلى تزايد الفوضى في مكونات هذه الجمل. فكلما ارتفعت

درجة حرارة الغاز في أسطوانة ما، أزدادت حركة جزيئاته، وتعاظم تصادمها بجدران الأسطوانة، محاولة الانعتاق، ويتزايد ذلك مع مرور الزمن. ومع أنَّ الأنتروبية لا تتناقص عادة أبداً، فإنَّ تزايدها يتوقف (كما عرضنا منذ قليل) عند وصول الجملة إلى حالة توازن. وتجدر الإشارة إلى أنَّ أنتروبية جملة ما تتألف من خليط غازين (الأكسجين والآزوت مثلاً) تكون أعلى من مجموع أنتروبية الغازين عندما يكونان مفصولين عن بعضهما. ذلك أنَّ حالة الغازين المتخالطين أقل ترتيباً من حالة الغازين المفصول أحدهما عن الآخر بوساطة حاجز في الأسطوانة. كما لا بد من التأكيد أنَّ حالة التوازن هذه (توقف فعل الأنتروبية) هي المسؤولة مثلاً عن عدم امتصاص ماء البحر الأحمر تلقائياً لقسم من حرارة البحر المتوسط، فيبدأ ماء الأول بالغليان والتبخر، بينما يأخذ ماء المتوسط بالتجمد. ذلك أنَّ انتقال الحرارة هو تزايد في الانتظام وتناقص في الفوضى. ومع أنَّ مفهوم الأنتروبية أُستنبط أساساً في ما يتعلق بتناسب مدى تشتت جزيئات غاز ما تناسباً طردياً تقريباً مع محتوى الجملة المدروسة من الحرارة، فإنَّ ما يهمنا من هذا المفهوم استقراء علاقته بموضع التطّور الذي نحن بصدده.

يمكن القول استقراءً إنَّ الكون كان منذ ولادته وحتى الآن في صراع دائم مع الأنتروبية. ذلك أنَّ هذا الكون قد نزع (وينزع باستمرار) إلى الانتظام، ويتجه بمكوناته (بنية ووظيفة) من الأبسط إلى الأعقد ومن الأقل كفاية ومردوداً إلى الأشد أداءً وفاعلية. والإنسان أيضاً يصارع (في حالته السوية) الأنتروبية. ونسوق كمثال ساذج على ذلك التوقف عن ترتيب المنزل أو تصليحه. إنَّ ذلك سيؤدي إلى سيادة الفوضى في المنزل، أو انهياره في حال التوقف عن الترميم. ولا بد من التأكيد أيضاً أنَّ عدد حالات الفوضى في جملة ما أعلى بكثير من عدد الحالات المنتظمة ذات المعنى (ذات الطاقة الحرة الأعلى المفيدة، أو المنتجة للعمل). وللتبسيط أيضاً نذكر مثال لوحة تتألف من قطع صغيرة ذات أشكال هندسية مختلفة (قطع لوحة اللغز puzzel). فاللوحة ذات المعنى (التي تمثل منظراً طبيعياً، أو معركة، أو أشخاصاً . . .) تتراتب فيها القطع تراتباً واحداً متفرداً، في حين أنَّ خلط القطع بعضها ببعض عشوائياً يعطي عدداً هائلاً من الأشكال عديمة المعنى. فالتراتب الموجه يؤدي إلى شكل ذي معنى، ويعاكس الأنتروبية. في حين أنَّ التراتب اللاهدفي (بطبيعة أنتروبية) مجرد من المعنى. وهذا هو بالضبط الفرق الرئيس بين تطور موجه ذي معنى وبين تطور تصادفي عشوائي بدون معنى. كما ويمكننا أن نشتق مثالاً اجتماعياً يظهر فيه فعل الأنتروبية الاجتماعية: إنَّ عدد الفقراء والتعساء في العالم يفوق كثيراً عدد الأغنياء والسعداء.

لنعد من جديد إلى مثال جملة غازي الأكسجين والآزوت المفصولين عن بعضهما (في أسطوانة واحدة) بحاجز فيزيائي. إنَّ لكل من الغازين أنتروبيته (حالة الفوضى لمواقع جزيئات الغاز) التي تزداد تغايراً بسبب زيادة حركة هذه الجزيئات الناجمة عن ارتفاع درجة الحرارة. فإذا ما سمحنا للغازين بالتخالط، فتصبح عندئذ للجملة أنتروبية جديدة تفوق في قيمتها مجموع أنتروبية الجملتين معاً (الأكسجين والآزوت) عندما كانتا مفصولتين إحداهما عن الأخرى. ذلك أنَّ درجة الفوضى في الجملة المتخالطة قد ازدادت، وسنحتاج إلى صرف كمية إضافية من الطاقة (كما هي الحال في إعادة ترتيب المنزل أو ترميمه) كي نفصل الغازين بعضهما عن بعض.

إنَّ الأشكال الثلاثة للتطور موضوع هذا الكتاب (التطور الفيزيائي الفلكي، والتطور الفيزيائي الكيميائي، والتطور البيولوجي) قد سارت كلها بعكس الأنتروبية، ووفقاً لتطور موجه. «فأنتروبية» الجسيمات الغريبة غير العادية (ومنها الفوتونات، والغليونات، والإلكترونات) التي شكلت نقطة الركام الكمومي، وحدث فيها الانفجار الأعظم أعلى من

أنتروبية الكواركات والبروتونات والنترونات التي نشأت من «جسيمات» الركام الكمومي، ذلك أنها أكثر انتظاماً وتراتباً. و«أنتروبية» هذه(أي الكواركات، والبروتونات، والنترونات)، وكذلك توزعها النسبي، أعلى من «أنتروبية» نوى الهدرجين والهليوم التي نشأت منها والتي هي أكثر تراتباً وانتظاماً وتعقيداً، كما أنها أشد كفاية وأداء، ذلك أنَّ لها في مفهومنا البشري بنية ووظيفة ذات معنى. أي إن الأنتروبية هنا (من حيث الانتظام وخلافاً لطبيعتها) في تناقص مستمر. وتنطبق هذه المقولة على تكون ذرات العناصر من النوى، والإلكترونات التي أسرتها هذه النوى لتدور (وإلى الأبد) حولها. كما تنطبق على الجزيئات التي تكونت من هذه الذرات، وعلى المركبات التي نشأت من ارتباط هذه الذرات بعضها ببعض، وعلى المادة الحية التي تكونت من عدد من هذه المركبات. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أنَّ لكل خلية حية «أنتروبية» معينة. ولكن خلافاً لما يحدث في أسطوانة غازي الأكسجين والآزوت لدى تخالط هذين الغازين وازدياد أنتروبية الجملة المتخالطة، فإنَّ لخليتين (أو أكثر) تلاصقتا إحداهما بالأخرى طاقة حرة أقل من مجموع الطاقة الحرة للخليتين منفصلتين بعضهما عن بعض(4.3). ومع أنَّ المقارنة بين جملة خليتين حيتين وجملة الأكسجين والآزوت تنطوي ظاهرياً على الكثير من السطحية والسذاجة، فإنَّها تحتمل الكثير من المنطق. إذ يمكن اعتبار كثرة عدد العصبونات والخلايا العصبية في دماغ الإنسان (ازداد حجم دماغ الإنسان خلال ثلاثة ملايين سنة ثلاث مرات تقريباً)، وتزايد كفاية هذه العصبونات والخلايا، وكذلك نشوء الضمير، والذكاء البشري، والإدراك، ودقة استعمال اللغة، يمكن اعتبار هذه الأمور كلها تطوراً مخالفاً للأنتروبية، وتمرداً على المبدأ الثاني للترموديناميك. لقد كان تطوراً موجهاً لا دور فيه لا للمصادفة ولا للمجازفة ولا للضرورة العمياء، خلافاً لما يعتقده البيولوجي الجزيئي الفرنسي «جاك مونو» Jacques Monod (1910–1976، الذي فاز بجائزة نوبل عام 1965) في كتابه الشهير «**المصادفة والضرورة Le Hasard et la Nécessité**»[12]

2.2.3 الشوش

تتفق الديانات التوحيدية كلها على أنَّ الشوش chaos (اللاانتظام) كان يسود قبل كل شيء آخر. ويتألف من الظلمات والضباب. وعندما انتهى الشوش، وانحسر الظلام، وتبدد الضباب، وتراجعت مياه الطوفان، بدأت الحياة بالتكون. وكما كنا عرضنا منذ قليل، فإنَّه يمكن تعريف الشوش فيزيائياً بأنَّه نظام رديء لتوزع طاقة جملةٍ ما على جمل جزئية ذات أبعاد متباينة (في حين أن الأنتروبية هي توزع سيئ للمادة في حيز ما).

(4.3) قد يبدو هذا المنطق في مناقشة نقصان الأنتروبية مناقضاً للمبدأ الثاني للترموديناميك نفسه الذي ينص أيضاً (إضافة إلى تزايد أنتروبية الجملة) على أنَّ هذا التزايد في الأنتروبية يترافق مع انخفاض في الطاقة الحرة (المفيدة والمنتجة للعمل). فالطاقة الحرة لثلاثة كواركات (اثنين فوقيين وواحد تحتي، علماً بأنَّ الكواركات الحرة لا توجد في الطبيعة) أعلى من الطاقة الحرة للبروتون. والطاقة الحرة لخليتين منفصلتين أعلى من الطاقة الحرة لخليتين متلاصقتين. إنَّ هذا صحيح ولا شك. ولكن ما ينجم عن تشكل البروتون والنترون، وعن نشوء الكائنات الحية عديدة الخلايا من بنى ذات تعقيد أكبر وأداء وظيفي أفضل، يتجاوز موضوع تناقص الطاقة الحرة. فصحيح أنَّ الطاقة الحرة تنخفض نتيجة تعقد البنية (انسجاماً مع المبدأ الثاني للترموديناميك)، إلاّ أنَّ تناقص الأنتروبية (نتيجة تزايد الانتظام والتراتب) كتمرد على المبدأ الثاني من جهة، وتكون أجسام ذات بنى أعقد وكفايات وظيفية أفضل من جهة أخرى، هما الأمران المهمان في تطور موجه ذي معنى. فتناقص الأنتروبية في هذا التطور يفوق كثيراً تناقص الطاقة الحرة من حيث النتيجة. كما يمكننا أن نتساءل: هل سيكون للكون معنى لولا هذا الخروج الكلي عن المبدأ الثاني للترموديناميك؟ وهل إنَّ الطاقة المفيدة، أي الحرة في المفهوم الفيزيائي (الجسدية والفكرية) التي ينتجها الإنسان أقل مقداراً (وأهمية) من الطاقة الحرة التي يمكن لخلاياه الستين ألف مليار أن تنتجها لو بقي بعضها منفصلاً عن بعض؟

12. Monod , J., Le Hasard et la Nécessité, Seuil , Paris (1970).

ولقد وجدنا (في قراءاتنا للشوش) أنَّ أفضل وسيلة (في ما يتعلق بالبيولوجي) أن يُشرح مفهوم الشوش فيزيائياً إنما بوساطة ظاهرة فيزيولوجية واسعة الانتشار. إنَّ هذه الظاهرة هي النفضة jerk، secousse [13] التي يضايقنا الشعور بها عندما يطرأ تغير مفاجئ على حركتنا.

يمكن (في الميكانيك الغاليلي النيوتني) استعمال مقادير عديدة (مشتقة من موضع جسم ما) لوصف حركة هذا الجسم. فالمقدار الأول هو السرعة v (velocity، veloeité) التي تحدد التغير في موضع الجسم مقدراً بالمتر في الثانية مثلاً. أمَّا المقدار الثاني، فهو التسارع a (acceleration، accélération)، أو معدل تغير السرعة مع الزمن، ويقدر بالمتر في الثانية في الثانية (إنَّ الثقالة تزيد من سرعة جسم آخذ في السقوط بمقدار 8،9 متراً في الثانية لكل ثانية تمر على بدء السقوط). إنَّ النفضة J هي المقدار الثالث المشتق من الموضع، وتصف كيف يتغير التسارع نفسه، وتقدر بوحدة غير مألوفة وليست سلسة القياد، تتمثل بالتغير الذي يصيب التسارع مقدراً بالمتر في الثانية في الثانية في الثانية. فإذا ما رمزنا إلى موضع الجسم نفسه بالحرف x (الذي يحدد المسافة بالمتر بين الجسم نفسه وبين نقطة ثابتة)، يغدو عندئذ بإمكان أي منا أن يصنف (بالاستعانة بالمقادير x و v و a و j) معظم الحركات التي نصادفها في الحياة اليومية. ومن المعلوم تاريخياً أنَّ تعيين التسارع من قبل «غاليلي» مهد الطريق أمام «نيوتن» لوضع قانونه الشهير: القوة = الكتلة × التسارع، أو F=ma حيث تشير F إلى القوة (force)، أي العامل الخارجي المطبق على الجسم بغض النظر عن طبيعة هذا الجسم، وm (mass، masse) إلى الخاصة الذاتية للجسم والمتمثلة بكتلته. ويصف التسارع a الحركة الناجمة عن فعل القوة في الجسم.

وإذا عدنا إلى الفيزيولوجيا، فإننا سندرك فوراً أنَّ تأثير السرعة في جسم الإنسان يختلف كلياً عن تأثير التسارع. فالسرعة الثابتة لا تؤثر في جسم الإنسان كيفما كانت كبيرة. فالمسافر في سيارة أو قطار أو طائرة، لا يشعر بالسرعة إلا إذا نظر إلى جسم ما خارج واسطة السفر. ولكن إذا ما زاد سائق السيارة أو القطار أو قبطان الطائرة السرعة فجأة، فإنَّ من يوجد داخل واسطة السفر سيعاني ارتداداً مفاجئاً إلى الخلف. إنَّ بوسعنا إذاً أن نرى السرعة. أما التسارع، فنشعر به (أو نستشعره). ومن الملاحظ أيضاً أنَّ القوة المسببة لتسارع ثابت، يستشعرها الجسم على نحو مطرد ومستمر، وليس كقوة مزعجة، أو حتى مؤلمة. بيد أنَّ التغير المفاجئ في هذه القوة، يسبب التضايق، أو حتى الألم. فعندما تُصدم سيارة من الخلف، تعاني تغيراً مفاجئاً في التسارع، أو تعاني نفضة J. ويستعمل مهندسو السيارات النفضة كمؤشر على عدم راحة الراكب. وأكثر السيارات راحة تلك التي تساوي النفضة فيها صفراً. إنَّ الحركات التي يقوم بها حامل الأثقال (في محاولته لرفع الثقل التنافسي) هي نفضات. كما أنَّ الانقضاض المثير للغثيان (الذي يعاني منه أحياناً راكبو عربات سكة مدينة الملاهي الدائرية المعلقة عندما تصل هذه العربات إلى أدنى ارتفاع لها، أو يستشعره المسافر في سيارة تسير في طريق ذات انحدار حاد نسبياً، كالوادي مثلاً) هو نوع من النفضة تحدث بسبب تغير التسارع من حيث الاتجاه أو المقدار. يمكن القول إذاً **إنَّنا نقيس الموضع، ونرى السرعة، ونستشعر التسارع، وتصيبنا النفضة بالتضايق (أو حتى الغثيان) لأنها تدخل الشوش في الحالة الفيزيولوجية للجسم**. كما يمكن القول استقراءً إنَّ النقصان المفاجئ في الدخل الشهري لفرد ينفق إنفاقاً مستقراً، يحدث شوشاً في حالته المالية.

ويحدث الشوش في جملة من الجمل. عندما يبدي مقدار ما اعتماداً شديداً على الحالة البدئية التي ستُعين بوساطتها الحركة المستقبلية. لنعتبر مثلاً حركة الكرة الزجاجية الصغيرة (أو الكُلَّة marble، bille)، التي يلعب بها الأطفال وهي

13 .Von Baeyer, H. C., The Sciences (The New York Academy of Sciences), **38**, 1 , 12 –14 (1998).

تتدحرج على منحدر. إنَّها تتأثر (كورقة الشجر الطافية على سطح الماء الجاري والتي أشرنا إليها في مطلع هذه الفقرة) بقوى عديدة: الثقالة، ومقاومة الهواء، ودرجات متفاوتة من الاحتكاك، وغيرها. لنفترض أنَّ الكرة الزجاجية قد تُركت لتتدحرج بسرعة بدئية تم تحديدها بدقة. إنَّها ستصبح (بعد خمس ثوانٍ مثلاً) في موضع آخر، وستكون لها سرعة مختلفة. فإذا كان نتاج هذه الحركة (الموضع والسرعة) بعد خمس ثوانٍ تالية مساوياً لنتاج الثواني الخمس الأولى أو يقاربه، فإننَّا نقول عندئذ إنَّ حركة الكرة منتظمة، أو إنَّها ليست شوشية. أما إذا كان النتاج مغايراً، ويصعب إيجاد علاقة واضحة بين النتاجين الأول والثاني، فإنَّ حركة الكرة ستكون قد أبدت اعتماداً جسيماً على قوى الحالة البدئية، ونقول عندئذ عن الحركة بأنها غير منتظمة أو شوشية.

ومع أنَّه يمكن التنبؤ من حيث المبدأ بالحالة الشوشية لجملةٍ ما، فإنَّ هذه الحالة غير قابلة عملياً للحساب(5.3)، ذلك أن بوسعها أن تقود إلى تغيرات اعتباطية كبيرة في النتاج النهائي. وإذا كان علينا أن نحدد بوثوقية عالية الحالة الشوشية لنتاج حركة جسم ما، فعلينا أن نحدد بدقة عالية جداً شروط الحالة البدئية، والمواضع المتوسطة، وكذلك السرعات في كل خطوة من الخطوات. ويصح هذا القول أيضاً على الحركة الشوشية لكرة لعبة الروليت، وعلى حالة طقس يوم غد. **بوسعنا الآن، وبناء على ما تقدم، أن نثمن الآلية (التطور الموجه ذا المعنى) التي أخرجت مكونات الركام الكمومي التي حدث فيها الانفجار الأعظم من حالة الشوش إلى حالة الانتظام، ووجهت تطور المادة في الاتجاه ذي المعنى الذي سارت عليه. إنَّ هذه الآلية لم تعمل بعكس الأنتروبية وحسب، إنما عملت بعكس الشوش أيضاً.**

3.2.3. تكون المجرات

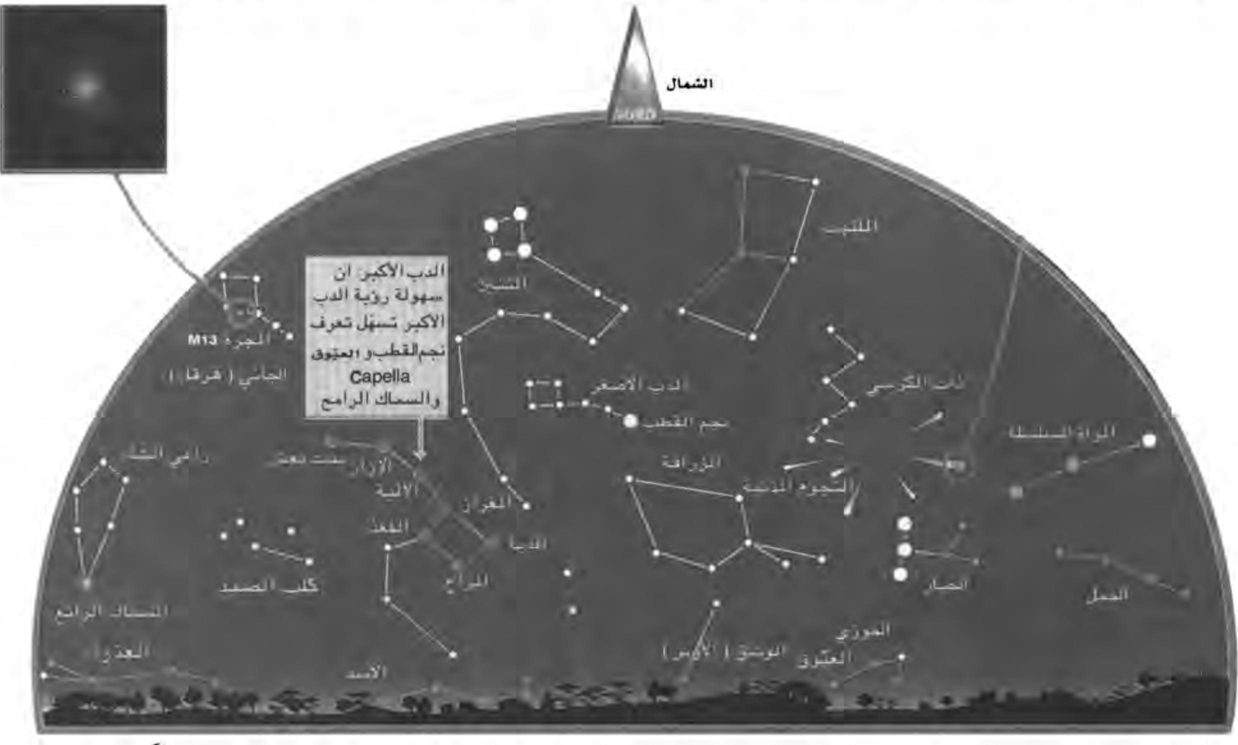
لقد رأينا أنَّه قد يكون من المفيد أن نشير إلى تشكل المجرات في الفقرة نفسها التي عرضنا فيها إلى ظاهرتي الأنتروبية والشوش، ذلك أنَّنا نرى أن تشكل المجرات (بما في ذلك الكواكب والنجوم) خضع، كما خضع تكون المادة نفسها، لقوى الطبيعة الأربع (والثقالة منها على وجه التخصيص). ونرى أيضاً أنَّ تشكل هذه المجرات ومكوناتها ضرب من الانتظام، وتمرد على الأنتروبية والشوش. وعلى الرغم من التباين في أشكال المجرات (كما سنعرض لذلك بعد قليل)، يمكن اعتبار الكون عموماً منتظماً ومتجانساً (ماعدا الجزر الكونية ذات الكثافة الأعلى) وذلك وفقاً للمبدأ الكوني الذي سبق ذكره (يرجع إلى الفقرة 3.1.1).

يمكن تعريف المجرة galaxy، galaxie بقولنا إنَّها تَعَنقدٌ، أو حشد، هائل الحجم من النجوم المترابطة ثقالياً (أي إنَّ الثقالة تقسر هذه النجوم كي تبقى متماسكة ومشكلة لهذا التعنقد). ويمكن للمجرة الواحدة ان تحتوي على نجوم يقارب حجم مجموعها ألف مليار (10^{12}) حجم الشمس، كما يمكن للمجرة أن تحوي قرابة مئتي مليار نجم، لنصفها على الأقل حجم يزيد على حجم الشمس (يبلغ قطر الشمس 080 392 1 كيلومتراً). ويقدر عدد المجرات التي تؤلف الكون ما بين 10^8 (مئة مليون) إلى 10^{11} (مئة مليار) مجرة. أي إنَّ الكون يتألف إذاً (وعلى الأقل) من مئة مليار مليار (10^{20}) نجم.

(5.3) لقد أمكن مؤخراً بدراسات طويلة ومضنية، أجريت بوساطة الحاسوب، واستعملت فيها ملايين المعادلات التضامية combinitorials، combinitoriales بين x (موضع الجسم بالنسبة لنقطة ثابتة)، وv (السرعة)، وa (التسارع)، وJ (النفضة)، كما سبق لهذه المقادير وعُرِّفت، لقد أمكن التوصل إلى المعادلة التالية التي توصف حالة الشوش في حركة جسم ما: $J + 2.05a - v^2 + x = o$
ولكن عندما عُدِّل هذا الرقم السحري (2،05) بنسبة 2 في المئة فقط، فإنَّ حالة الشوش قد اختفت.



إننا نعيش في مجرة درب التبانة la voie lactée ،the milky way (الطريق الحليبية، التي تبدو في ليلة صافية، وإذا ما نظر إليها بعيداً عن تداخلات الضوء الصنعي (أضواء المدينة)، كوشاح أبيض (انظر الشكل 3 .16). إنَّ مجرتنا هي من المجرات حلزونية الشكل، ويبلغ قطرها مئة ألف سنة ضوئية (أي 9.46×10^{17} كيلو متر). وتعد مجرة «المرأة المسلسلة» Andromedia ، andromède (انظر الشكل 3 .6)، التي تبعد عنا قرابة مليونين ونصف مليون سنة ضوئية (قرابة 2.4×10^{19} كيلومتر)، أقرب مجرة إلى درب التبانة. يمكن رؤيتها بالعين المجردة. هذا ويوضح الشكل 3 .1

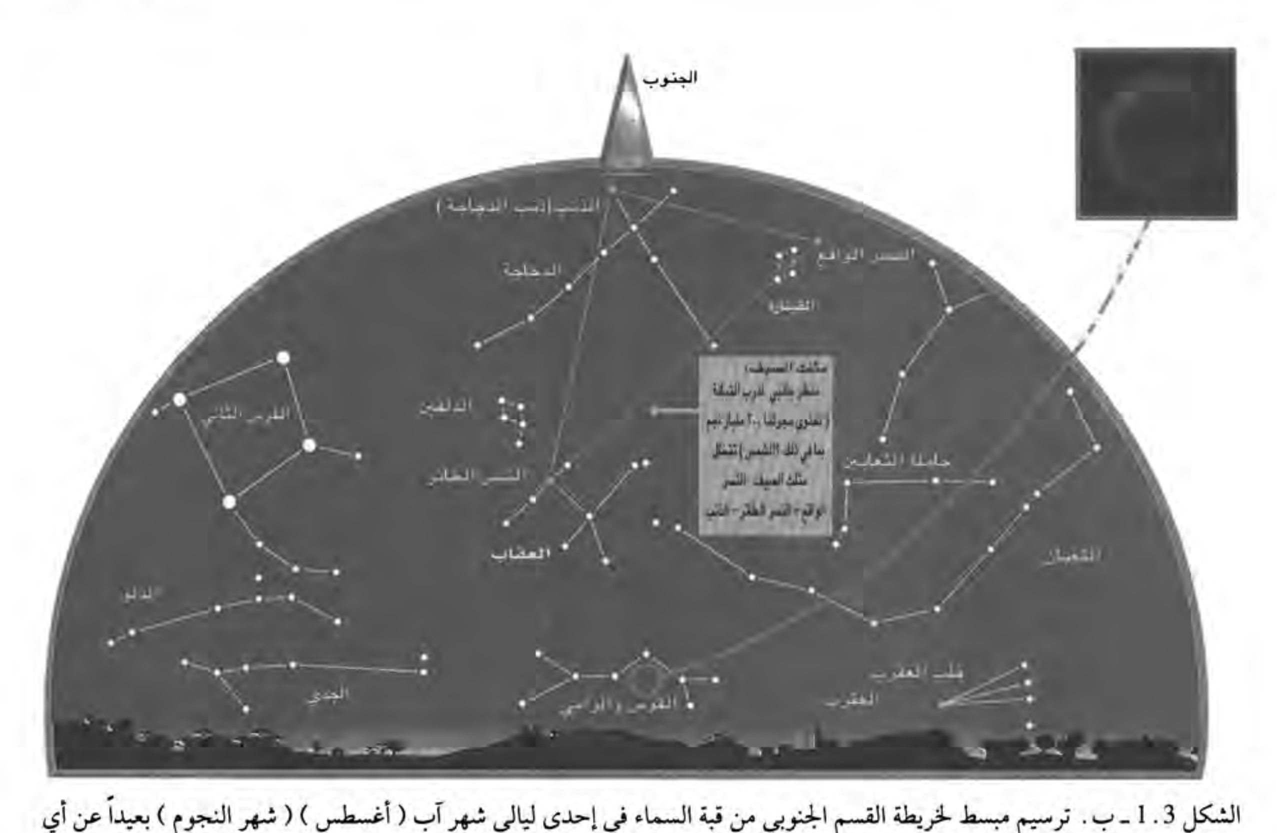


الشكل 3 .1ـأ . ترسيم مبسط لخريطة القسم الشمالي من قبة السماء في إحدى ليالي شهر آب (أغسطس) (شهر النجوم) بعيداً عن أي تلوث ضوئي، حيث يمكن (بالعين المجردة، أو بوساطة منظار بسيط) رؤوية كوكبة «الجاثي» Hercules ، Hercule ، وكوكبة الدب الأكبر (بما في ذلك النجم «بنت نعش») وكوكبة التنين، وكوكبة الدب الأصغر (بما في ذلك نجم القطب)، وكوكبة «الزرافة»، وكوكبة «قيفاوس» (الملتهب) Cepheus ، Céphée ، وكوكبة «ذات الكرسي» Cassiopeia ، Cassiopée ، وكوكبة «الجبار» Perseus ، Persée ، وكوكبة «الأَوْس» (الوشَق، من السنانير) Lynx ، وكوكبة (برج) «الحَمَل» Bélier ، ومجرة «المرأة المُسلسلة» . كما تظهر في أقصى اليسار كوكبة «الصياد»، وكوكبة «العذراء»، وكوكبة «كلاب الصيد»، وكوكبة «الأسد الصغير» التي تقابل كوكبة «الحوذي» Cocher . وتقع كوكبات: «العذراء»، و«الأسد الصغير»، و«الأوس»، و«الحوذي» في أسفل قبة السماء. كما تظهر في الشكل (في أقصى اليسار، وفوق كوكبة «العذراء») كوكبة «السمّاك الرامح» Arcturus . وتجدر الإشارة إلى أن الكوكبات والأبراج أُعطيت أسماء اقتبست من الأساطير اليونانية [الشكل عن Ducrocq, P., **"La Vie Scientifique", Le Figaro**, (14 Aout 1998)].

قسماً من كوكبات درب التبانة، كما ويبين مجرة المرأة المسلسلة في إحدى ليالي الصيف ذات الأجواء قليلة التلوث، وبعيداً عن الضوء. ستبدو السماء عندئذ «كعروس من الزنج عليها قلائد من جمان». ولا بد من الإشارة إلى أنَّ بُعْدَ أبعد مجرة عنا قابلة للرصد (وتقع على حافة الكون المستمرة) يبلغ قرابة 12 مليار سنة ضوئية (أي قرابة 10^{23} كيلومتر، يبلغ نصف قطر الكون قرابة 10^{24} كيلومتر، أو مئة مليار سنة ضوئية). هذا وسنعرض فيما يلي، وبإيجاز شديد، إلى آلية تشكل

وتجدر الإشارة إلى أننا استقينا من الأطلس الرائع (علمياً وجماليا، والذي سيرد في الصفحة التالية، المرجع 14)، معظم المعلومات المتعلقة بالمجرات والمنظومة الشمسية. كما اقتبسنا منه الأشكال المرافقة للنص.





الشكل 3 . 1 ـ ب . ترسيم مبسط لخريطة القسم الجنوبي من قبة السماء في إحدى ليالي شهر آب (أغسطس) (شهر النجوم) بعيداً عن أي تلوث ضوئي ، حيث يمكن (بالعين المجردة ، أو بوساطة منظار بسيط) رؤوية كوكبة « الفرس الثاني » Pegasus ، Pégase ، وبرج (كوكبة) « الدلو » Verseau ، وبرج « الجدي » Capricornus ، وكوكبة « ذنب الدجاجة » Deneb ، وكوكبة « الدجاجة » Cygnus ، Cygne ، وكوكبة « الدلفين » ، وكوكبة « النسر الطائر » Altaïr ، وبرج « العقاب » Eagle ، Aigle ، وكوكبة « القوس و الرامي » Sagittarius ، Sagittaire التي تشكل قلب مجرتنا ، مجرة درب التبانة (الطريق الحليبية) التي تؤوي 200 مليار نجم (بما في ذلك مجموعتنا الشمسية) . كما يمكن رؤوية كوكبة « النسر الواقع » Vega في القبة اليمنى للسماء ، ثم كوكبة « القيثارة » Lyra ، Lyre ، وكوكبة « حاملة الثعابين » Ophiuchus ، وبرج « السرطان » Scorpion ، وكوكبة «قلب العقرب» Antares ، Antarès الملحقة ببرج السـرطـان ، وأخيراً كـوكبة « الثعبان » التي تظهر في أقصى اليمين [الشـكل عن Ducrocq, P., **"La Vie Scientifique"**, **Le Figaro**, (14 Aout 1998)] .

المجرات، وإلى أشكالها والتأثرات التي تنشأ فيما بينها (علماً بأننا سنتطرق في الفقرة الأخيرة من هذا الفصل الفقرة 3 . 5 إلى بعض خصائص مجرة درب التبانة). ويمكن الرجوع من أجل معلومات أكثر تفصيلاً عن الكون والمجرات والكواكب إلى المرجـع 14 الـقـيـم المبين أدنـاه، الـذي يُـعـدُّ واحـداً مـن أدق المراجـع (المتـعـلـقة بعلم الفلك) التي اطلعنا عليها .

كما كنا عرضنا في ما سبق (يرجع إلى الفقرة 1 . 4)، فإنَّ المجرات بدأت بالتشكل بعد مرور مليار عام على ولادة الكون (على حدوث الانفجار الأعظم)، وذلك بدءاً من نوى الهدرجين والهليوم، ومن عناصر غازية تشكلت فيما بعد، ويطلق عليها الآن اسم الركام الكوني أو الغبار السديمي . وبعد مرور بضع ساعات على حدوث هذا الانفجار، توقف تكون نوى الهدرجين والهليوم، في حين أنَّ توسع الكون توسعاً منفعلاً (بسبب قوة الانفجار الأعظم)، استمر خلال المليون سنة التالية . وما إن انخفضت درجة حرارة الكون المتبرد (نتيجة التوسع) إلى بضعة آلاف الدرجات، حتى أصبحت طاقة الإلكترونات والنوى أضعف من قوة الجذب التي تبديها القوة الكهرطيسية . وهكذا أخذت تتشكل ذرات الهدرجين أولاً (الذي كان بعضها متأيناً بفعل الإشعاع)، ثم الهدرجين الثقيل (الدوتريوم ^{2}H)، والتريثيوم (^{3}H)، وسلسلة العناصر الأثقل التي تشكلت من اندماجات نوى الهليوم، التي نشأت (كما عرضنا غير مرة) من اندماج نواتي دوتريوم أو هدرجين

14. Bersani , J. et al.," **Le Grand Atlas de l'Astronomie**" , **Encyclopaedia Universalis** , Paris (1983).

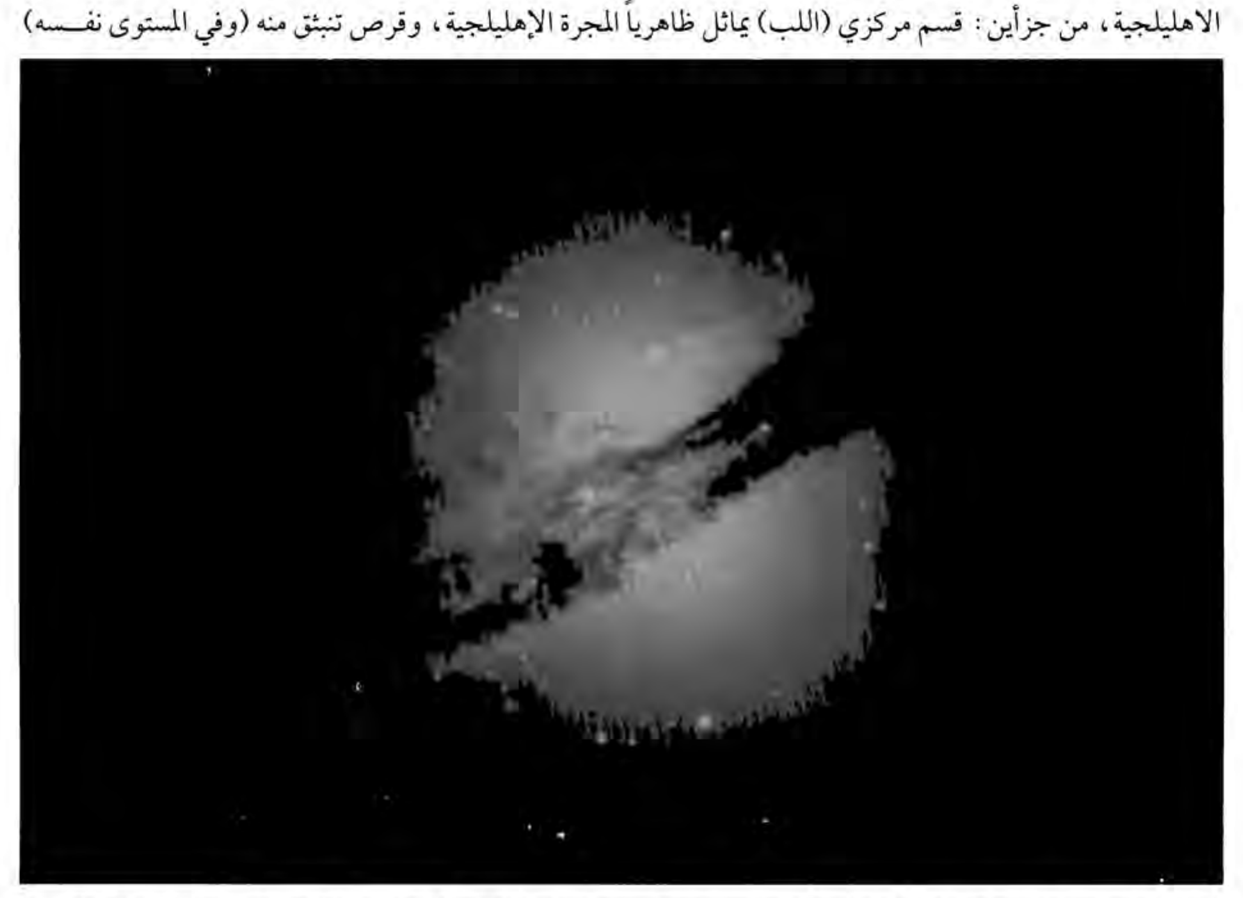
ثقيل . ثم أخذت هذا الغازات (وأخرى غيرها) بالتكاثف، لتشكل (بفعل الثقالة) نوى المجرات . وفي حين أنَّ الكون تابع توسعه وتبرده، فإنَّ نواحي معينة منه (كانت أكبر كثافة بقليل من غيرها بما لا يزيد على جزء من مئة ألف جزء)، تباطأت في توسعها بسبب الجذب الثقالي الإضافي . وبطبيعة الحال، فإنَّ هذه النواحي أخذت بالارتصاص على نفسها . ولكن ما إن بدأ هذا الارتصاص، حتى أدت قوة الثقالة (التي أخذت بشد المادة خارج هذه النواحي) إلى إحداث حركة دورانية طفيفة في تلك النواحي متزايدة الارتصاص . وكلما كان حجم كل ناحية من النواحي متعاظمة الارتصاص صغيراً، ازداد دورانها على نفسها (ازداد تدويمها أو سبينها spin) . ولقد وصلت كل كتلة من هذه الكتل (بذور مجرات المستقبل) إلى حالة توازن بين سرعة السبين (التدويم) وقوة الجذب الثقالي، عندما وصل حجمها إلى قيمة حرجة . وكنتيجة مباشرة للفعل الثقالي، نشأ جسم له شكل كرة مسطحة الوجهين (شأن الكواكب والنجوم كلها) . وعلى هذا النحو تشكلت بدايات المجرات ذات الشكل القرصي . أمَّا النواحي التي لم تتمكن (لأسباب غير معروفة تماماً) من الدوران (التدويم أو السـبين)، فشـكـلت المجرات ذات الشـكل الإهليليجي (البيضوي)elliptical، ellipticale الـتـي توقفت كتلها عن الارتصاص على نفسها، ذلك أنَّ الأقسام الجزئية للمجرة كانت تدور دوراناً ثابتاً حول المركز، لكن المجرة ككل لم تكن قادرة على الدوران .

ومع تقدم الزمن، تشظت سحب غازي الهدرجين والهليوم البدئيين إلى سحب أصغر، ارتصت كل واحدة منها على نفسها تحت تأثير ثقالتها . ومع تزايد هذا التقلص، تعاظم تصادم الذرات بعضها ببعض، فتزايدت حرارة الغاز الواحد تزايداً متسارعاً حتى وصل إلى مستوى يمكنه من بدء تفاعلات الاندماج النووي . ولقد أدى هذا الاندماج إلى تحويل المزيد من الهدرجين إلى هليوم (كما يحدث في جوف الشمس، يُرجع إلى الحاشية 8.1 انظر أيضاً الحاشية 4 . 1) . ولقد أدت الحرارة الناشئة عن هذا الاندماج إلى ارتفاع الضغط في الطبقات الخارجية للسحابة الواحدة، الأمر الذي عاكس قوة الارتصاص الثقالي، وأوقف السحابة عن الرضوخ لمزيد من التقلص . ولقد استمرت السحابة في هذا الوضع التوازني المستقر ملايين أو مليارات السنين، تحرق الهدرجين (في اندماج نووي) إلى هليوم، وتُشع الطاقة الناجمة عن فرق الكتلة (بين نواتـــي دوترِيوم ونواة هليوم كمـــا يحدث في جوف الشمس، يُرجع إلى الحاشية 8.1 انظر أيضاً الحاشية (4 . 1) على شكل حرارة وفوتونات . وكلما ازداد حجم السحابة (النجم الوليد)، تطلبت منه حالة التوازن أن يكون أشد حرارة كي يتغلب على فعل التجاذب الثقالي، الأمر الذي اقتضى زيادة كبيرة في سرعة التفاعلات النووية، أكبر بكثير مما يحدث في السحب (نجوم المستقبل) الأصغر حجماً . ولهذا فإنَّ النجم الكبير، يستنفد هدرجينه خلال بضعة مئات ملايين السنين، في حين تستنفد النجومُ الأصغر حجماً (كالشمس مثلاً) وقودَها خلال مليارات السنين (مضى على تشكل الشمس ما يقارب أربعة مليارات عام ونصف المليار، ولديها من الهدرجين ما يكفيها مدة خمسة مليارات عام أخرى، حيث ستتحول -كما كنا عرضنا- إلى جثة هامدة ضئيلة الحجم -بحجم الأرض- هائلة الثقل وخافتة الإشعاع، وسيكون هذا الإشعاع أبيض وبارداً، وستعرف بمعايير المعارف المتوفرة حالياً بالقزم الأبيض) . وتعاني هذه النجوم الكبيرة تقلصاً طفيفاً، وتتزايد حرارتها أكثر فأكثر، فتشرع بتحويل الهليوم إلى عناصر أثقل : فيتشكل البيريلوم (كما كنا عرضنا غير مرة) من اندماج ذرتين من الهليوم . كما يتشكل الكربون من ثلاث ذرات من الهليوم، ومن ثم يتشكل الأكسجين، والكلسيوم، والحديد . وتعد هذه الذرات أشد العناصر تماسكاً . وتجدر الإشارة إلى عدم وجود ذرة مستقرة لعنصر تتألف



نواته من خمسة جُسيمات نووية (بروتونات ونترونات). وبالنظر إلى أنَّ هذه الاندماجات النووية للهليوم، تعطي عناصر أثقل، لا تحرر من الطاقة ما يكفي للحفاظ على حالة التوازن بين تقلص مركز النجم بفعل الثقالة، وبين الضغط النابذ في طبقاته الخارجية بسبب الفعل الحراري، فتنشأ عندئذ حالة قد تنتهي بتشكل ثقب أسود (انظر الفقرتين التاليتين). ولقد كان لا بد من التعرض إلى هذه النواحي (التي سنعود ونفصلها بعض الشيء في الفقرتين التاليتين) ما دامت المجرة الواحدة تتألف من الركام الكوني (غازي الهدرجين والهليوم بصورة أساسية، وغازات أخرى لعناصر أثقل إنما بنسب أقل) من جهة، ومن الكواكب والنجوم المتعنقدة في سديم تلك المجرة من جهة أخرى. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أنَّ قسماً كبيراً نسبياً من هدرجين الكواكب والنجوم يكون بحالة متأينة نتيجة الإشعاع الذي يتعرض له هذا الغاز. أمَّا في ما يتعلق بأشكال المجرات، فيمكن تصنيفها في أربعة أنماط رئيسة: المجرات الاهليليجية ellipticals، ellipticales، والمجرات الحلزونية spirals، spirales، والمجـرات العدسـية lenticulars، lenticulaires، والمجـرات غير المنتظمة irregulars، irregulières.

وتتميز المجرة الإهليلجية (الشكل 3.2) بشكلها المدور الإهليلجي، وبمظهرها المتجانس، وبتوزع ضيائها توزعاً شديد الانتظام. أما المجرات الحلزونية (الشكل 3.3) (ومنها مجرتنا درب التبانة)، فتتألف، وخلافاً للمجرة الاهليلجية، من جزأين: قسم مركزي (اللب) يماثل ظاهرياً المجرة الإهليليجية، وقرص تنبثق منه (وفي المستوى نفسه)



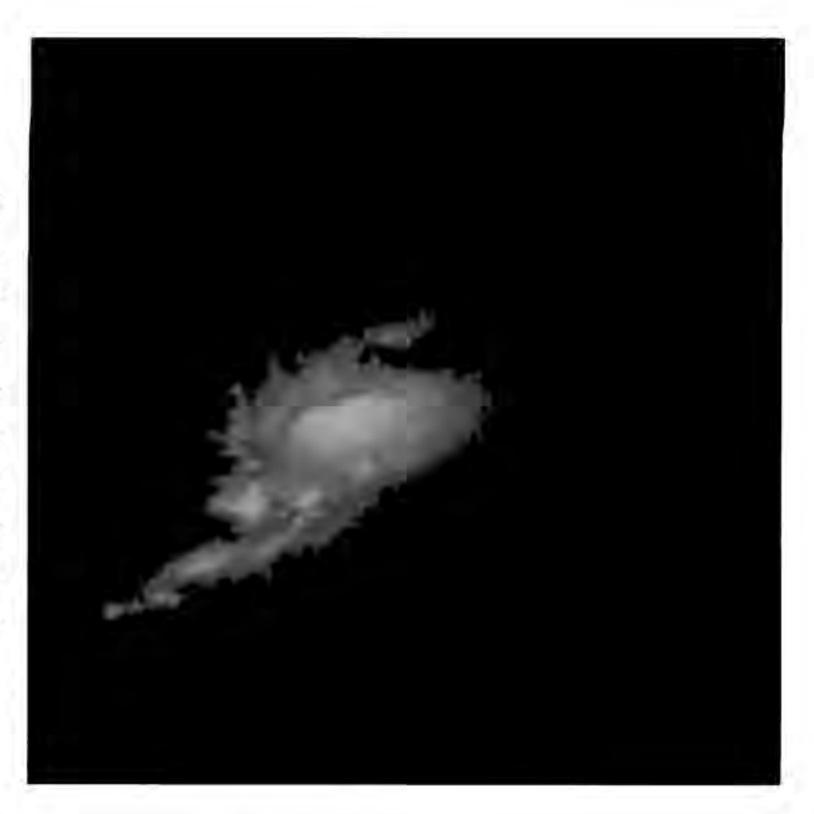
الشكل 2.3. صورة للمجرة NGC5128 (وفقاً لتصنيف مرصد كمبردج) ذات الشكل الإهليليجي (البيضي)، وتقع في كوكبة (برج) «قنْطورس» Centaurus (الظلمان، والقنْطورس كائن أسطوري نصفه العلوي إنسان ونصفه السفلي - الخلفي - حصان). ويحتل مركز المجرة قرص هائل من السديم أو الركام (الغبار) الكوني، ومن الغازات، ومن النجوم الفتية. ويدل وجود هذا القرص الغازي على فاعلية المجرة من حيث تشكيل النجوم، ومن حيث إصدار الأمواج الراديوية (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14، ص. 336).



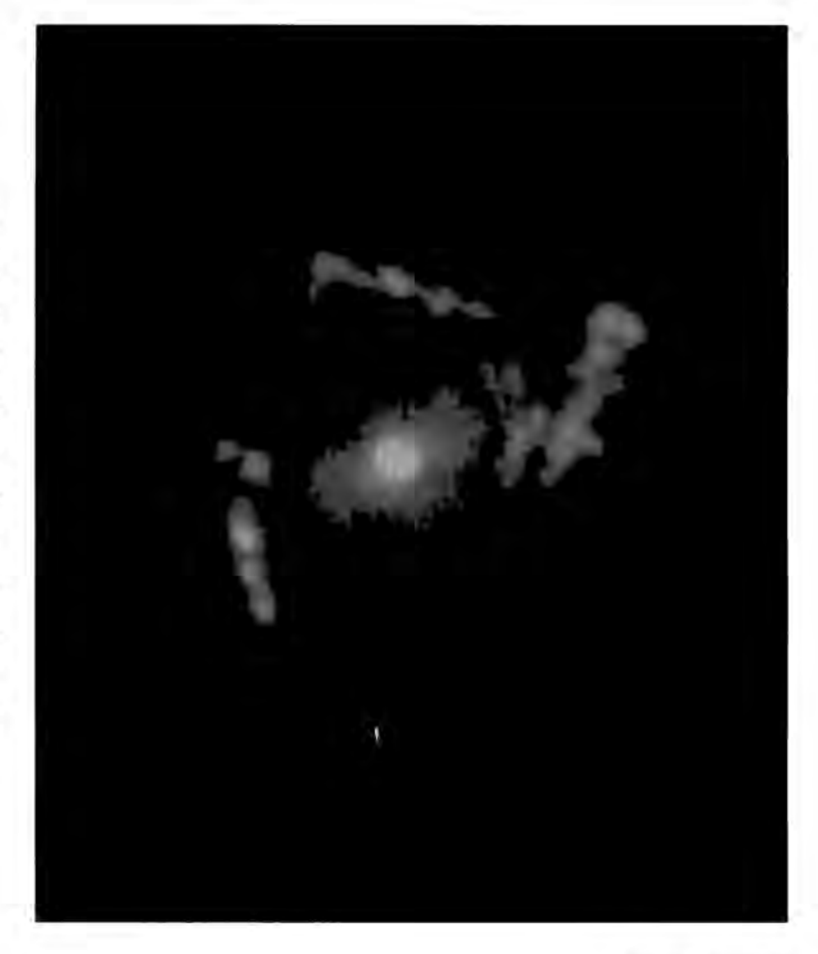
الشكل 3.3 ـ أ . صورة للمجرة NGC2997 ذات الشكل الحلزوني . إن ألوان الصورة هي الألوان الحقيقية . ويبدو مركز المجرة فتياً، تنيره نجوم من الجيل الثاني (III)، وهي نجوم مُعمَّرة ، كما تنير المركز نجوم عماليق حمر . وتشبه جمهرة هذه النجوم المعمرة مركزية التوضع شبهاً كبيراً نجوم مجرتنا ، مجرة درب التبانة ، التي هي حلزونية الشكل أيضاً . ويرجع اللون الأزرق في الأذرع شديدة الانثناء إلى وجود نجوم فتية جداً وذات حرارة شديدة الارتفاع . أمَّا البقع الحمر ، فتتألف من هدرجين تأين بتأثير الأشعة فوق البنفسجية والحرارة المرتفعة اللتين تصدران عن هذه النجوم الفتية الملتهبة (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 341) .



الشكل 3 . 3 ـ ب . صورة للمَجرة M83 التي تشاهد من نصف الكرة الجنوبي ، وتَعَدّ مجرة ضخمة بين المجرات الحلزونية ، وتشكل جزءاً من مجموعة كوكبة (برج) «قِنْطورس» المشار إليه في الشكل 3 . 2 . إنها أقرب المجرات الحلزونية إلينا ، إذ تبعد عنا 7 . 3 مليون فرسخ نجمي (أي قرابة 12 مليون سنة ضوئية ، أو قرابة 2.1×10^{20} ، أو 120 مليار مليار كيلو متر) . إن ألوان هذه الصورة هي ألوان المجرة الحقيقية (عن Bersani,et al., 1983 ، المرجع 14 ، ص . 341) .



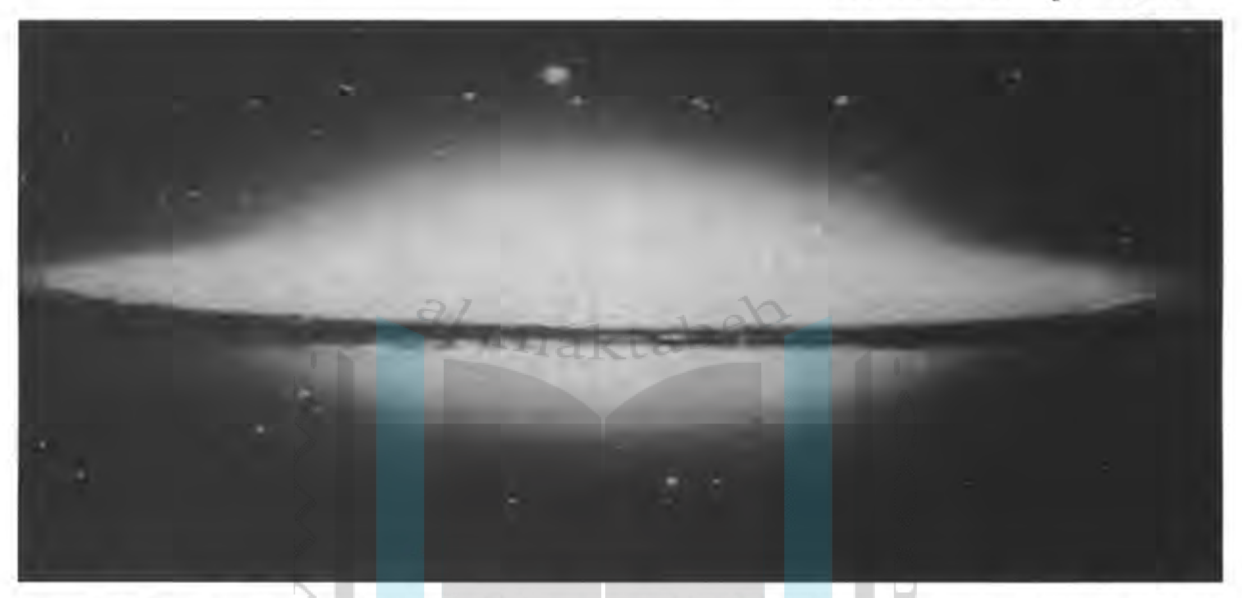
الشكل 3 . 3 ـ جـ. صورة بالألوان الحقيقية لمجرة حلزونية ذات ذراعين فقط من النمط SB NGC 4258 . يتألف اللب من نجوم معمرة جداً (12,7 مليار عام تقريباً)، تحيط به نجوم تؤلف القرص، تشكلت بعد نجوم اللب . أمَّا النجوم الفتية، فتشكل الذراعين . ويختلف الذراع السفلي عن الذراع العلوي في أن السفلي أكثر تعقيداً من حيث البنية ، ويحتوي على نجوم أكبر عمراً من نجوم الذراع العلوي التي تعد فتية جداً (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14، ص. 323)



الشكل 3 . 3 ـ د. صورة بالألوان الحقيقية لمجرة حلزونية مغلقة من النمط 4303 SBC NGC ، تتألف من لب وقرص وأذرع شديدة الالتواء، تغلق المجرة على نفسها . وتحتوي المجرة على نوعين من النجوم ، فهي أكثر تجانساً من مجرات حلزونية أخرى . فاللب والقرص يتألفان من نجوم معمرة ، أقدم قليلاً في اللب منها في القرص . أمَّا الأذرع شديدة الالتواء، فتتألف من نجوم فتية . و كما هي الحال في المجرات الحلزونية كافة، فإن بعد نجوم الأذرع عن القرص، وشدة اللون الأزرق، هما معيارا حداثة النجوم (الشكل عن Bersani,et al., 1983، المرجع 14، ص. 323) .

أذرع حلزونية. ويمكن أن نلاحظ في المجرات الحلزونية مجموعتين من المجرات: المجرات الحلزونية السوية (المفتوحة)، والمجرات الحلزونية المغلقة التي تنثني فيها الأذرع، فيتحول شكل المجرة ظاهرياً إلى ما يشبه القرص (قد يأخذ أحياناً شكلاً بيضوياً كما هي الحال في مجرة المرأة المسلسلة). وتمتلك المجرات العدسية -هي الأخرى- لبّاً مركزياً وقرصاً (الشكل 3.4)، بيد أنّ القرص لا يصدر أذرعاً كالمجرة الحلزونية. وكما يدل اسمها، فإنّ المجرات غير المنتظمة (الشكل 3.5) لا تمتلك بنية محددة تماماً، فاللب غير موجود ظاهرياً، والمظهر شوشي البنية. وتجدر الإشارة إلى أنّ هذا التصنيف شديد الإيجاز لأشكال المجرات يعكس أيضاً تبايناً في تركيب كل نمط منها من حيث عدد النجوم وتوهجها (الحرارة)، وإضاءتها (إشعاعها للفوتونات). هذا، وسنعرض بشيء من التفصيل إلى مجرة درب التبانة في الفقرة 3،5 من هذا الفصل.

ولقد رأينا أنَّه من المفيد (وقبل أن ننهي هذا الوصف الموجز لتشكل المجرات ولأنماطها) الإشارة بإيجاز إلى أقرب مجرة إلى مجرتنا، وهي تبعد عنا مليونين ونصف مليون سنة ضوئية (أي قرابة 2.4×10^{24} أو 24 مليار مليار كيلومتر)، ونعني بذلك مجرة المرأة المسلسلة التي ورد ذكرها غير مرة. وبغرض إحاطةٍ أفضل بمحيط مجرتنا، فإننا سنعرض بإيجاز أيضاً إلى سحابتي «ماجلان» Magellan.



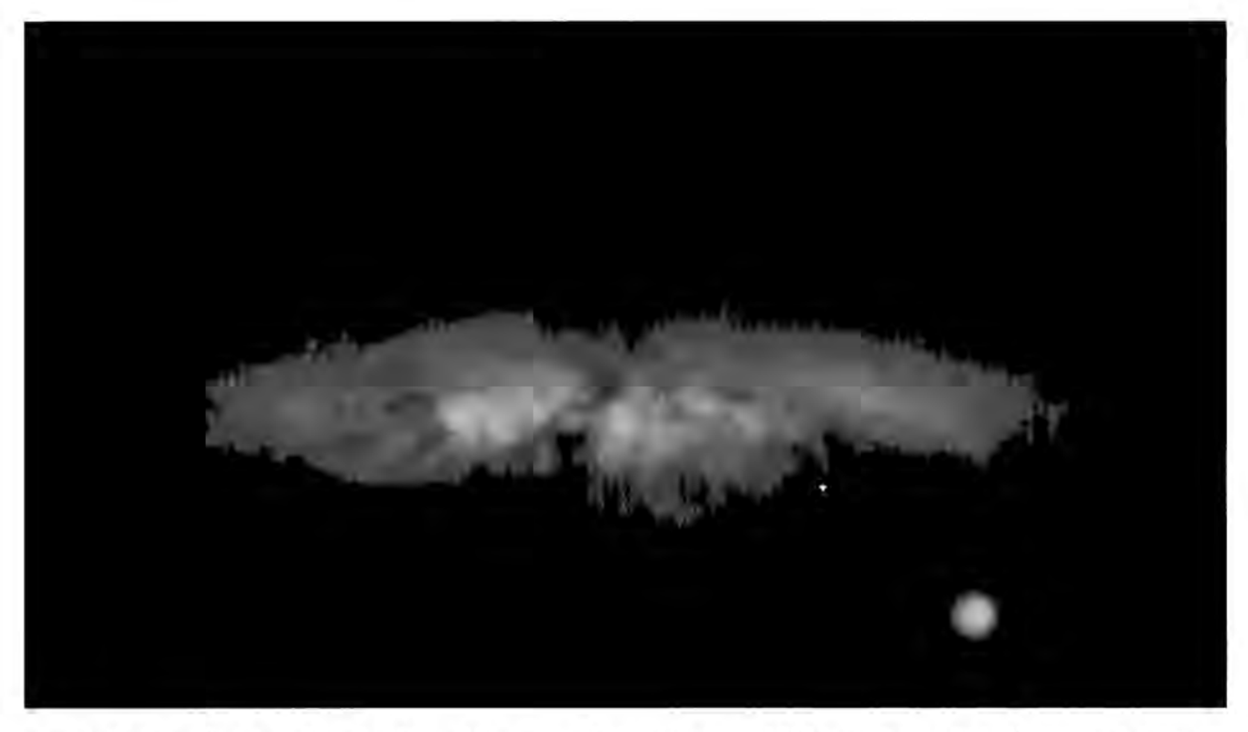
الشكل3.4 . صورة لمجرة عدسية الشكل من النمط NGC 4594، وتعرف بالصَّمبَريَرة Sembrero (قبعة ذات حواف عريضة، شائعة في المكسيك والمناطق الجنوبية الغربية من الولايات المتحدة)، وتتألف من قرص ثخين كروي الشكل تقريباً، وحواف رقيقة. ويقطع المجرة في وسطها نطاق من الركام الكوني، أو الغبار السديمي. وقد تكون هذه المجرة قد تشكلت بدءاً من مجرة حلزونية بدئية (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14، ص. 339).

تعد مجرة المرأة المسلسلة أكبر المجرات في المجموعة الموضعية القريبة من درب التبانة، وتحمل الرمز M31، أو NGC224 وفقاً لجدول تصنيف مرصد جامعة كمبردج. وتبلغ كتلة مجرة المرأة المسلسلة ثلاث مئة مليار (3×10^{11}) مرة كتلة الشمس، أي ضعف حجم مجرتنا. ويبلغ قطرها خمسين ألف فرسخ نجمي[(6.3)]، أي 5،1 × 10^{17}كيلو متر [14]. وكما عرضنا في ما سبق، فإنّ لهذه المجرة شكلاً حلزونياً تصعب دراسته (الشكل 3.6). وتتوضح خصائص هذه المجرة التي

(3.6) تقدر الأبعاد الكونية بوحدة تعرف بالفرسخ النجمي parsec. لقد اشتقت هذه الوحدة من كلمتين: بارالاكس parallax(e)، وثانية second (e). ويعادل الفرسخ النجمي-ثانية (الذي هو الفرق في الاتجاه الظاهري لجسم يُنظر إليه من نقطتين مختلفتين ليستا على خط مستقيم ←







الشـكل 5.3. صورة بالألـوان الطبيعية للمجـرة M82 من النمط غير المنتظم. تتميز ببنية شديدة الشوش، وتصدر عنها أشـرطة ملتهبة (يبدو أن المجرة تقذف بها في الفضاء) (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 345).

أمكن تحديدها (حجم اللب بالنسبة إلى لقرص الظاهر، وكتلة الجزء الغازي من المجرة، وألوان أقسام هذه المجرة، وما تظهره صور الأشعة فوق البنفسجية)، توضح خصائصها وصور أشعتها إذاً أنَّ أذرعها الحلزونية منثنية على القرص المركزي إنثناءً شديداً. وتدل الدراسات التحليلية التي أجريت بمنظار الطيف على أنَّ محتواها الغازي شبيه بمحتوى مجرتنا. ولقد أدى استـهلاك المادة الغـازية وبخاصة الهدرجين والهليوم) في كواكبها (كما هي الحال في مجرتنا) إلى غزارة العناصر الثقيلة. وتشير هذه الدراسات -ودراسات أخرى- إلى معدل عال لتشـكل النجـوم باتجـاه مركز المجرة.

وتتصف مجرة «المرأة المسلسلة» بصغر نواتها التي يبلغ قطرها ثمانية آلاف فرسخ نجمي، وتبدو هذه النواة أكثر لمعاناً من بقية جسم المجرة (يرجع إلى الشكل 3 . 6). وعلى ما يبدو، فإنَّ تشكل النجوم في مجرة المرأة المسلسلة قد توقف منذ ثمانية مليارات عام، فدام هذا التشكل إذاً قرابة أربعة مليارات عام، خلافاً لما كان يعتقد سابقاً بأنَّ تشكل النجوم تم خلال زمن قصير نسبياً لم يتجاوز بضع مئات من ملايين السنين. وهكذا فإنَّ عمر هذه النجـوم يبلغ قرابة 12 مليار سـنة (إذا اعتبرنا أنَّ عمر الكون هو 13 مليار سنة -يُرجع إلى الحاشية 1 . 9 والفقرة 3 . 1 . 4 وإلى المرجع 11- وليس 15 مليار عام). ولا بد من إجراء دراسات أكثر عمقاً لفهم ما إذا كان هذا الشكل الحلزوني غير النمطي لمجرة المرأة المسلسلة قد نجم عن تأثرها بالمجرات المجاورة، أم إنه نتج عن تأثرات أخرى غير معروفة حالياً. وتجدر الإشارة إلى أنه في الوقت الذي تختفي فيه بعض النجوم والكواكب، تولد (بتصادم المجرات والنجوم الضخمة) نجومٌ وكواكبُ جديدة. ولقد اتضح أنه يولد وسطياً في مجرتنا ثلاثة نجوم كل عام. فالولادة والموت يصيبان النجوم (وربما المجرات) أيضاً.

←مع هذا الجسم) في ما يتعلق بالشمس الرقم 206 265 بجداء قطر الكرة الأرضية، أي ما يعادل 26، 3 سنة ضوئية، أو 26، 3 × 60 × 60 × 365 × 3×10^5 أي قرابة 3×10^{13} كيلومتر.

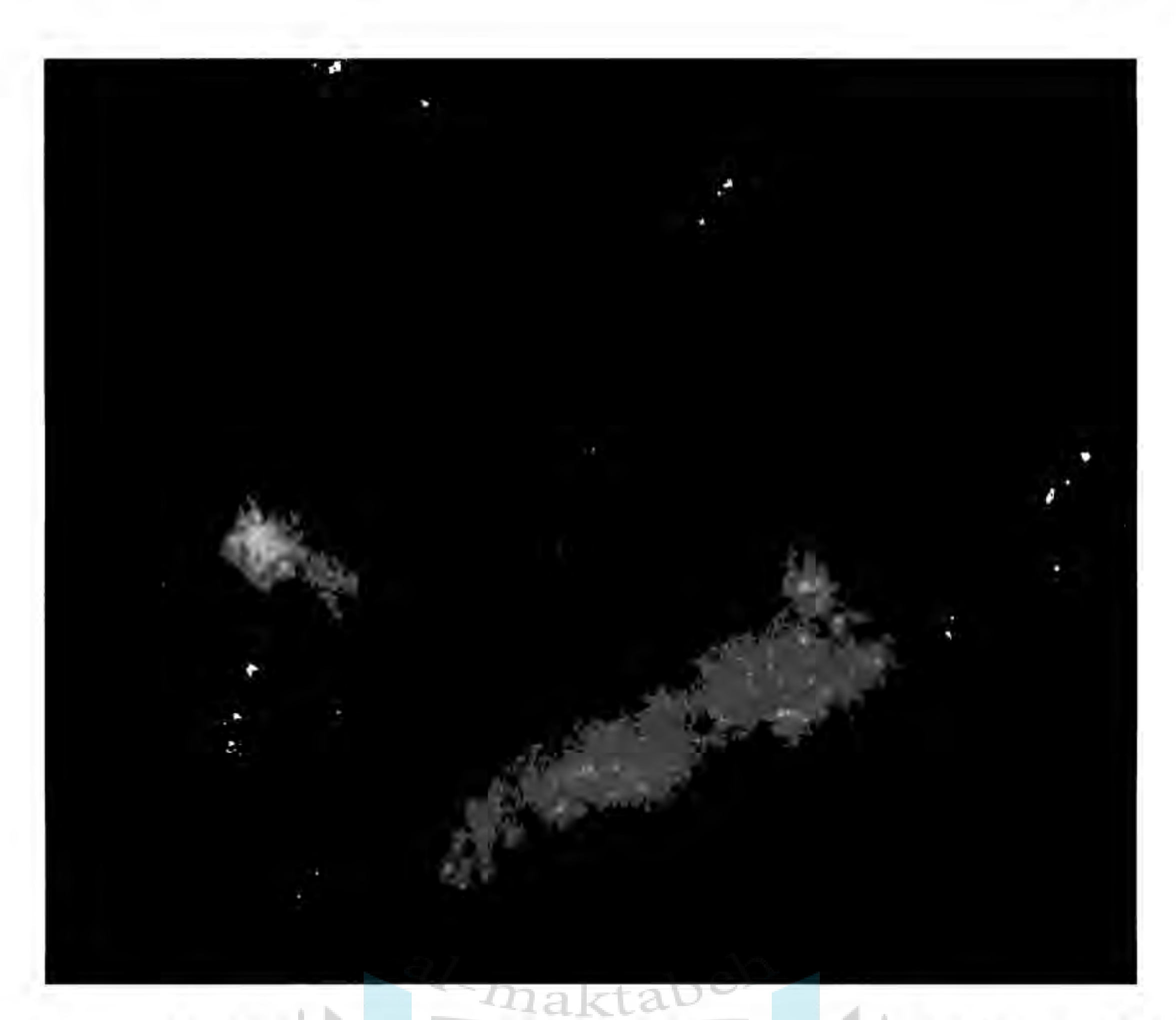




الشكل 3 . 6. صورة بالألوان الطبيعية لمجرة المرأة المسلسلة M31 ، وهي مجرة ضخمة من النمط الحلزوني ، وتوجد في كوكبة (برج) المرأة المسلسلة . إنها أقرب مجرة إلينا (تبعد قرابة 2.5 مليون سنة ضوئية ، أو ما يقارب 2.5×10^{18} كيلومتر) ، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة، وما تزال تعاني الشد التثاقلي من مجرتنا . ويدل لون قرصها الأبيض على كثرة عدد النجوم المعمرة التي تشكل هذا القرص [عن L . W Freedmann، «مجلة العلوم» (الكويت) المجلد **16** العددان **7** و **8** ، يوليو - أغسطس (تموز - آب)، 88-93 (2000)] .

أمَّا في ما يتعلق بسحابتي «ماجلان» Clouds of Magellan ، Nuages de Magellan (انظر الأشكال 7.3 و 8.3 و 9.3)، فلقد ورد ذكرهما في كتابات مؤرخي رحلة «فرنند دو ماجلان» Fernand de Magellan (1480-1521)، واسمه في اللغة البرتغالية Fernâo de Magalâes، وهو البحار البرتغالي الذي كان أول من دار حول الأرض، واكتشف في العام 1520 المضيق الذي يحمل اسمه . ولقد وُصفت هذه الرحلة حول الأرض من قبل عدد من المؤرخين، ومن قبل «أنتونيو بيغافيتا» Antonio Pigafetta على وجه التخصيص . وتظهر سحابتا «ماجلان» (على نحو واضح اللمعان) في نصف الكرة الجنوبي [14]، تحيطان بدرب التبانة ، وتظهران كوشاحين هائلي الأبعاد، يستهوي مظهرهما العين المجردة . وكان جمالهما الأخاذ سبباً (على ما يبدو) في دخول سحابتي «ماجلان» في أساطير «أبوريجين» أستراليا (سكان أستراليا الأصليين البدائيين)، Aborigens ، Aborigenes وأساطير أقوام «البوشيمان» Bochimans في إفريقية الجنوبية وجنوب المحيط الهادئ . وتعرف سحابتا «ماجلان» بالسحابة الكبرى والسحابة الصغرى .

وتظهر في السحابة الكبرى (الشكل 3 . 7) شريطة واسعة جداً، تتوضع ضمن قرص منتشر، ترصعه كتل مبعثرة من النجوم، تبدي توزعاً غير منتظم، لا يتساوق مع بنية محددة، كالبنية الحلزونية مثلاً . إنَّ هذا النمط من البنية اللامنتظمة (شريط ضمن قرص شوشي) يُصادف أيضاً في بعض المجرات التي تعرف تشبيهاً بالمجرات ذات اللاانتظام الماجلاني .



الشكل3 . 7. صورة بالألوان الطبيعية لقسم من سحابة «ماجلان» الكبرى (التي يعتبرها البعض مجرة قائمة بذاتها) . ويفسر امتدادها الواسع بقربها من مجرتنا (مجرة درب التبانـة)، ويفوق امتدادها هذا ست مرات امتداد مجرة المرأة المسـلسـلة . ومع أن هذه الصـورة لا تمسح السحابة بكاملها، فإنها توضح المكونات الأساسية لها . ويتراوح لـــون النجـوم المعمرة مـا بين الأصفـر والأخـضر . أمّـا النجـوم الأصغر «ســناً »، فتأخذ اللون الأزرق، وتنتشـر في أرجاء السحابة كلها . وتمثل المناطق الحمر سـدماً من الهدرجين المتـأين (عنBersani,et al., 1983، المرجع 14، ص . 325) .

وتبلغ كتل بعض النجوم في سحابة «ماجلان» الكبرى حجوماً كبيرة جداً، ولعل أضخمها معقد «دورادوس» Doradus الذي يعرف أيضاً بسديم العنكبوت.NGC) 2070 nébuleuse de Tarentule. nebula of Tarentule) (الشكل 3 . 8). ويُعدُّ سديم العنكبوت النواة الفعالة للسحابة الكبرى، ويحتوي على عدد كبير من النجوم الفتية، تستحم في مزيج من الغاز المتأين والسحب الجزيئية (المؤلفة من جزيئات غازية مختلفة). وتدور سحابة «ماجلان» الكبرى بسرعة تقل كثيراً عن سرعة المجرات الحلزونية . ففي حين تدور هذه بسرعة تتراوح ما بين 200 إلى 300 كيلو متر في الثانية الواحدة، فإنَّ سحابة «ماجلان» الكبرى تدور بسرعة تبلغ في أقصاها 70 كيلومتراً في الثانية . ويفوق الحجم الكلي لسحابة «ماجلان» الكبرى عشرة مليارات حجم الشمس، أو جزءاً من عشرين من حجم مجرة درب التبانة . وتجدر الإشارة إلى أن عشرة في المئة من كتلة سحابة «ماجــلان» الكبرى غــازي البنية .



الشكل3 . 8. صورة بالألوان الطبيعية لكامل سحابة (مجرة) «ماجلان» الصغرى التي تبعد قليلاً عن السحابة الكبرى . ومع أن السحابتين هما (كمجرتين) من نمط واحد ، فإن بنية السحابة الصغرى أكثر غموضاً من السحابة الكبرى . ونجهل أيضاً أصل « الجناح » الذي يظهر في الزاوية اليسرى من الصورة . ويرى معظم الفلكيين أن التشوه الذي أصاب شكل السحابة الصغرى إنما نجم عن التأثير الثقالي في هذه السحابة لكل من مجرتنا والسحابة الكبرى (عن Bersani, et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 325)

أمَّا في ما يتعلق بسحابة «ماجلان» الصغرى (الشكل 3 . 9)، فتمتلك بنية أكثر تعقيداً [14] وفي حين أنها تحوي (كسحابة «ماجلان» الكبرى) شريطاً أشد إضاءة من بقية سديمها، فإنَّ سحابة «ماجلان» الصغرى تبدي ردباً (امتداداً) خارجياً يشبه الجناح. ويبلغ حجم سحابة «ماجلان» الصغرى خمس حجم سحابة «ماجلان» الكبرى، أي إنَّها تتجاوز حجم الشمس بملياري مرة. وتكون السحابة الصغرى أغنى بالغازات، إذ تبلغ كتلتها الغازية ضعف ما هي عليه بالسحابة الكبرى (أي تصل إلى 20 في المئة).

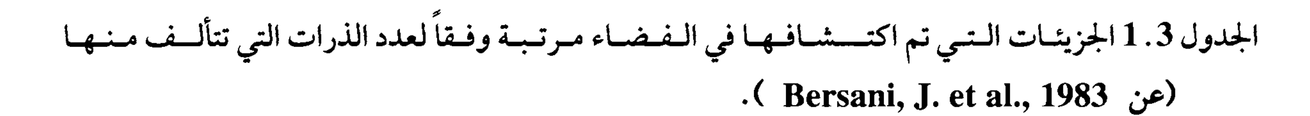
ولقد قدمت دراسة سحابتي «ماجلان» إسهامات كبرى في علم الفلك. ويأتي في مقدمة هذه الإسهامات اكتشاف «هنرييِّت ليفيت» Henriette Leavitt (لدى دراستها عام 1912 سحابتي «ماجلان») النجوم ذات الإضاءة المتغيرة دورياً، والتي عرفت بالسيفيدات (يرجع إلى الفقرة 3 . 1 . 1). وكما كنا عرضنا في ما سبق، فإنَّ شدة الإضاءة والدورية لهذه السيفيدات ساعدت على نحو فعال في تحديد المسافات بين الأجسام الفلكية، وأسهمت في تعيين طبيعة المسافات



الشكل 9.3 . صورة بالألوان الطبيعية لسديم العنكبوت (أو الدُلفين Doradus) الذي يشكل أكثر الأقسام توهجاً في سحابة (مجرة) «ماجلان» الكبرى . ويتألف هذا السديم شديد التعقيد وهائل الضخامة من الهدرجين المتأين ومن النجوم الفتية (عن Bersani, et al., 1983، المرجع 14، ص . 326) .

بين المجرات. ولقد أوضحت الدراسات التي اجريت فيما بعد (بناء على عامل شدة الإضاءة والدورية) أنَّ السحابة الكبرى تبعد عنا خمسين ألف فرسخ نجمي (أي 1.5×10^{18} كيلومتر، يرجع إلى الحاشية 6.3)، في حين تبعد السحابة الصغرى 65 ألف فرسخ نجمي (أي 1.95×10^{18} كيلومتر). وتُعدُّ هاتان المسافتان ضئيلتين مقارنة بأبعاد مجرتنا، مجرة درب التبانة التي يبلغ قطرها 30 ألف فرسخ نجمي (أي 9.46×10^{17} كيلومتر)[14] ومقارنة أيضاً بالمسافات النسبية بين هاتين السحابتين وبين مجرتنا من جهة ومجرة المرأة المسلسلة من جهة أخرى. فإذا تصورنا أنَّ مجرتنا تتمثل بمدينة دمشق، فإنَّ سحابتي ماجلان تتمثلان بالتقريب بضاحيتين من ضواحي دمشق، في حين تقع مجرة المرأة المسلسلة على الحدود التركية. وينجم عن هذا التجاور بين درب التبانة وبين سحابتي ماجلان تأثر يؤدي إلى نشوء سلسلة من سحب الهدرجين الغازي، تزيد كتلها عشرات ملايين المرات على كتلة الشمس. وكما يحدث في التجمعات المائية المتصل بعضها ببعض، فإن مجرتنا (وبسبب ضخامتها النسبية الهائلة) تجتذب هذه السحب الغازية، منتزعة إياها من سحابتي ماجلان.

وأخيراً، لا بد من الإشارة إلى تركيب الركام الكوني أو الغبار السديمي الموجود بين الكواكب من جهة، وبين المجرات من جهة أخرى. فإذا أخذنا منظومتنا الشمسية كمثال، فإنَّ الكواكب والسواتل والمذنبات وأشباه الكواكب تدور (كما سنرى لاحقاً، انظر الفقرة 4.3) حول الشمس بفعل الثقالة، ولكنها لا تدور في فراغ خال من المادة. وليست الشهب المضيئة (أو النجوم المذنبة أو المذنبات، انظر الشكل 51.3) سوى برهان على وجود المادة بين أجزاء المنظومة الشمسية. وتعزى هذه الظاهرة المضيئة (والتي تحدث في الطبقات العليا من جو الأرض) إلى اعتراض الأرض في أثناء دورانها قطعةً صغيرة من المواد الموجودة بين الكواكب، كأشباه النيازك والنيازك التي هي أكثر شيوعاً. إنَّ الدراسة المعمقة لهذه الشهب ذات الذيول المضيئة تقدم معلومات ثمينة عن اتجاه حركة هذه النيازك (ومن ثم تحديد مدار الدوران في المنظومة الشمسية)، وعن كتلتها، وكثافتها، وأحياناً عن تركيبها الكيميائي. وتتراوح أوزان هذه النيازك ما بين جزء من عشرة أجزاء من مليون من الغرام (أي 10^{-7} غرام)، وكيلوغرام واحد. ويمكن للنيازك الصغرية (من رتبة عشرة مكرونات) أن تشكل سحباً يبلغ قطرها 600 مليون كيلومتر على الأقل، ويطلق على مجموعها اسم سحابة دائرة البروج zodical cloud، nuage zodical. كما يحوي الفضاء بين كواكب المنظومة الشمسية غازي الهدرجين والهليوم وكمية من الفوتونات (انظر الفقرة 4.3 والشكل 17.3 على وجه التخصيص). أمَّا في ما يتعلق بالمادة الموجودة بين النجوم والتي تعرف بالسحب الجزيئية، فإنها تتألف بصورة أساسية من الهدرجين، وجذر السيانور CN، وكربون الهدرجين المتأين CH^+، وغير المتأين CH، والهدركسيل OH، وبخار الماء H_2O وأول أكسيد السيليسيوم SiO، وكميات أقل من أول أكسيد الكربون CO، وأكاسيد ومواد أخرى عديدة. هذا ويلخص الجدول 1.3 الجزيئات التي تم اكتشافها حتى الآن في الوسط بين النجوم interstellar medium، milieu interstellaire.



الجدول 3 . 1 الجزيئات التي تم اكتشافها في الفضاء مرتبة وفقاً لعدد الذرات التي تتألف منها (عن **Bersani, J. et al., 1983**).

13	11	9	8	7	6	5	4	3	2
$HC_{11}N$	HC_9N	$(CH_3)_2O$	CH_3COOH	CH_3C_2H	HCH_2OH	$HCOOH$	H_2CO	H_2O	H_2
		CH_3CH_2OH		CH_3CHO	NH_2CHO	HC_3N	NH_3	HCO	CH
		CH_3CH_2CN		HC_5N	CH3CN	CH_2N_2	$HNCO$	HCO^+	CH^+
				CH_3NH_2		NH_2CN	H_2CS	CCH	CN
				CH_2CHCN	CH_3SH	H_2CCO	C_3N	HCN	CO
						CH_4	C_2H_2	HNC	CS
						C_4H		N_2H^+	OH
								H_2S	SO
							$HNCS$	OCS	NS
							HCO_2?	SO_2	SiO
								HNO ?	SiS
								HCS^+	C_2
									CO^+ ?
									NO

ومع أنَّ الجدول 3 . 1 لا يوضح الكميات المطلقة أو النسبية للعناصر والمركبات التي تشكل السحب الجزيئية، فإنَّ الهدرجين يشكل القسم الأعظم من هذه السحب، في حين أن بقيةُ المواد (والتي يبلغ عددها 56 مركباً كيميائياً) لا توجد إلاَّ بآثار ضئيلة، يصل بعضها إلى جزء من مليون فقط من كتلة هذه السحب. كما أنَّ بنية بعض الجزيئات ذات السلسلة الكربونية الطويلة في السحب الجزيئية قد استنتجت بحسابات نظرية بحتة، ذلك أنَّ اصطناع هذه المركبات في المختبر غير ممكن لعدم ثباتها، وإذا كانت توجد في السحب الجزيئية فلأنَّ شروط الفضاء بين النجوم والمجرات تختلف كثيراً عن شروط المختبر.

ويمكن الاستدلال على عمر المجرة، ومدى تطورها، بالكميات النسبية للعناصر الثقيلة التي تحتوي عليها. فكلما تقدم الزمن بالمجرة، كلما أضحت غنية بهذه العناصر (كالكربون والأكسجين والكبريت والحديد وغيرها)، وكلما تضاءلت تناسبياً كميات الغازات فيها. ونذكر في هذا الصدد (كإيضاح لهذه الظاهرة) أنَّ مجرتنا أكثر غنىً بالعناصر الثقيلة من سحابتي «ماجلان»، وبالتالي فإنَّ هاتين السحابتين تحتويان على كميات من الغازات أكبر نسبياً مما يحويه درب التبانة. وكمثال على ذلك، نشير إلى أنَّ سحابتي ماجلان تحويان من الأكسجين (كعنصر ثقيل) ثلث (في ما يتعلق بالسحابة الكبرى)، وسدس (في ما يتعلق بالسحابة الصغرى) الكمية التي يحويها كوكب الشمس. وإن دل هذا على شيء، فإنما

يدل على أنَّ اغتناء المادة بين المجرات بالعناصر الثقيلة يتم على نحو أشد بطئاً في سحابتي «ماجلان» مما يحدث في مجرتنا. ومع أنَّ أسباب هذه الفروق لا تزال غير واضحة تماماً، فإنه من المؤكد أنه كلما كبر حجم المجرة (أو حجم الكوكب)، استنفد مادته الغازية بسرعة أكبر، وكلما ازداد الاغتناء بالعناصر الثقيلة، وكلما قصر (في ما يتعلق بالكواكب والنجوم) عمرها. وكما سنرى، فإن الكواكب والنجوم الصغيرة تستنفد وقودها الغازي بسرعة أبطأ مما يحدث في الأجرام الفضائية الأكبر. وفي حين أنَّ تشكل النجوم الجديدة في مجرتنا، وفي المجرات الحلزونية عموماً (وكما كنا عرضنا، يتشكل في مجرتنا وسطياً ثلاثة نجوم كل عام)، يحدث في الأذرع الحلزونية، فإنَّ هذا التشكل يحدث في سحابتي «ماجلان» (وفي السحب بين المجرات المماثلة) على شكل مشتت وعشوائي، ويتم بما يشبه الثورات الفجائية.

3.3. المستعرات الفائقة والنجوم النترونية والأقزام البيض والثقوب السود

بوسـع القارئ أن يستنتج بسهولة (نظراً للحداثة النسـبية لعلم الكون) أنَّ أموراً كثيرة لا تـزال حقائقها غير راسخة تماماً. وتقع في نطاق الفرضيات، ويزداد وضوحها يوماً بعد يوم. ونذكر كمثال على ذلك عمر الكون وفقاً لقانون وثابتة «هَبْل» (يرجع إلى الحاشـيتين 1 .9 و 3 .1، وإلى الفقرة 3 .1 .4)، حيث أمكن مؤخراً الـتأكد من أنَّ هذا العمـر يبلغ 13.4 ± 1.6 مليار عـام، وليـس كما كان حسب سـابقاً. إنَّ هذا الأمر ينطبق أيضـاً (وبدرجـات متفاوتة) علـى الموضوعـات التي سـتعالج في هـذه الفقرة.

3.3.1. المستعرات الفائقة

يطلق اسم المستعرات الفائقة supernovae (والمفرد مستعر فائق supernova، أو السوبرنوفا) على مرحلة من مراحل احتضار النجوم الضخمة. وبالنظر إلى أنها تظهر بسبب ضيائها الهائل وكأنها جديدة، فإنَّ اسمها اشتق من كلمة novus اللاتينية وتعني «جديد». وقد تمر بعض النجوم (في حين موتها) بمرحلة تقل إضاءة عن المستعرات الفائقة، فيطلق عليها ببساطة اسم المستعرات novae. ويمكن بسهولة تمييز المستعرات الفائقة عن المستعرات بفرق الإضاءة الكبير وبمقدار فيض الأشعة السينية، ويظهر مستعر فائق في مجرتنا (مجرة درب التبانة) مرة واحدة كل ثلاثين عاماً تقريباً. ويمثل المستعر الفائق انفجاراً عنيفاً يحدث (كما سنبين) في أثناء سيرورة حياة بعض النجوم. ومع أنَّه يمكن رصد المستعرات الفائقة (الشكل 3 .10) بسهولة بسبب سطوع إضاءتها الهائلة (التي تفوق أحياناً سطوع ضوء كل نجوم مجرتنا)، والفيض المفاجئ والمذهل من الأشعة السينية، فإنَّ الغبار الجزيئي بين النجوم يحجب في معظم الأحيان هذا السطوع الضوئي الهائل للمستعر الفائق.

ويذكر السجل الكوني أنَّ الصينين قد لاحظوا مستعراً فائقاً لأول مرة في تموز (يوليو) عام 1054 في كوكبة الثور. وكان لا بد من الانتظار حتى عام 1572 ليرصد «جوهانس كبلر» مستعراً فائقاً آخر، وحتى عام 1604 حيث رصد «تيخو براهي» المستعر الفائق الثالث. أمَّا بعد ذلك، فلقد تم رُصد بضع مئات من المستعرات الفائقة، كانت كلها في المجرات المجاورة لمجرتنا.

ونحن نعلم الآن أنَّ سيرورة حياة النجم منوطة بصورة أساسية بكتلته، وبدرجة أقل بتركيبه الكيميائي. فإذا ما تجاوز حجم النجم كتلة حرجة تفوق ما بين 6 إلى 10 مرات كتلة الشمس، فإنه ينفجر بعنف قبل أن ينتهي إلى كوكب شديد الارتصاص يعرف بالنجم النتروني. أمَّا النجم الذي تقل كتلته (حجمه) عن 1.44 كتلة الشمس (حـد «شندراسيخار»)،



الشكل 3 . 10ـ أ . صورة طبيعية لسديم السرطان (1952 M1.NGC) الذي نشأ عن مستعر فائق من النمط I . ويشكل هذا السديم مصدراً هائل القوة للأمواج الراديوية ، ويعرف بالثور Taurus A ، وهو ذو علاقة بنجم نابض يدور بسرعة كبيرة جداً (تبلغ مدة الدورة 33 جزءاً من ألف جزء من الثانية) . ويرجـــع اللون المصفر إلى إصدار فيض متزامن من الإلكترونات التي تدور حلزونياً حول محـــور الحقل المغنطيـسي للنجم النابض . وتمثل الأشـرطة الحمر في محيط الســديم بقايـا غلاف المســتعر الفـائق التي تتألف من غـــاز الهـدرجين المتـأين والمتوهج (عن Bersani ,et al., 1983 ، المرجع 14, ص . 269)

يرجـع إلى الفقرة 3 . 1 . 5)، فـإنــه يتـحــول إلى نجـم شـاحـب السـطـوع ، يطـلـق عليــه اســم الـقزم الأبـيــض .

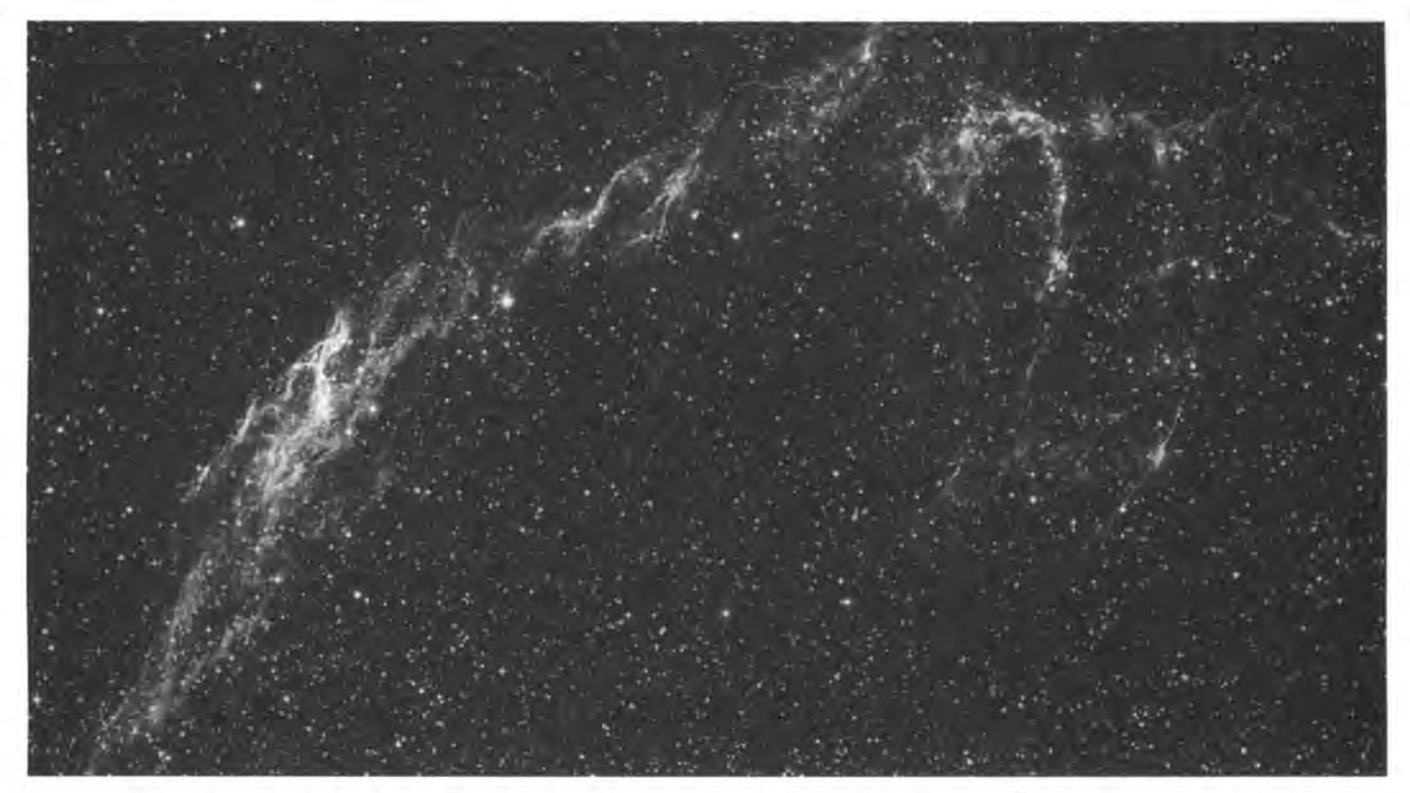
إنَّ الحادثات التي تؤدي إلى تشكل المستعر الفائق مرهونة بطبقاته القشرية التي تشبه في توضعها طبقات قشرة البصل . ويعود الفضل في رسم سيرورة تشكل المستعر الفائق إلى «فرد هويل» (الباحث البريطاني الذي استعمل لأول مرة في الأربعينات تعبير الانفجار الأعظم، يرجع إلى الفقرة 1 . 2)، وإلى «ويليام فاولر» William Fowler ، اللذين اقترحا في الستينات فرضية ما تزال في جوهرها صحيحة حتى الآن [14] . هذا ، ويمكن تبسيط سيرورة تشكل المستعر الفائق على النحو التالي (7.3): إنَّ انفجار النجم ليشكل المستعر الفائق، يتناول طبقاته الخارجية فقط ، في حين أن قلب النجم (قسمه المركزي)، وعلى عكس الطبقات القشرية ، ينهار منسحقاً على نفسه . وينجم انفجار الطبقات القشرية (لتشكل ظاهرة المستعر الفائق) عن تحول طاقة التفاعلات النووية (وبخاصة الطاقة الناجمة عن الانشطارات والاندماجات النوويـة الحرارية التي تؤدي إلى تشكل عدد من العناصر ، التي يكون معظمها ذا نوى غير مســتقرة، في سيرورة تعرف بالتركيب

(7.3) كانت تقدر الكتلة الحرجة للنجم الذي سيتحول إلى مستعر فائق ما بين 6 إلى عشرة أضعاف كتلة الشمس . وتدل الدراسات التي أجريت مؤخراً [15] على أنَّ هذه الكتلة الحرجة هي من رتبة 6 . 7 كتلة الشمس . وتشبه، كما كنا ذكرنا، بنية النجم ما قبل المستعر الفائق طبقات البصل . فبعد الطبقة السطحية التي تتألف من الهدرجين، نصادف (كلما اتجهنا نحو مركز النجم أو قلبه) طبقات من عناصر ، تتزايد كتلها الذرية مع تزايد العمق (الشــكل 3 . 11) . وتمثل هذه الطبقات النتاج النهائي المميز للتركيب النووي في شروط حرارة كـل طبقة من هذه الطبقـات . ←

15.La Recherche **310**, 17 (1998).







الشكل 10.3- ب . تخاريم (دنتيلاً) البجع (NGC 6992) بالألوان الطبيعية ، وتمثل مرحلة متقدمة لتطور ما سيتبقى من المستعر الفائق الذي يمر بمرحلة ما قبل الانصهار بالوسط بين النجوم . ومع أن عمر هذه البقية غير مؤكد، فإنه يزيد قطعاً على ثلاثين ألف عام . وتبلغ سرعة تمددها 120 كيلو متر/ ثانية . وتتميز تخاريم البجع (التي يتبرد هيكلها الخارجي تدريجياً) بفقرها بالهدرجين وغناها بالأكسجين والنيون اللذين نتجا عن التركيب النووي الذي حدث داخل المستعر الفائق . وستتصدع القشرة الخارجية إلى عدد كبير من السحب الصغيرة ، مخلفة وراءها كتلة غازية رقيقة جداً ، تصل حرارتها إلى ما يقارب نصف مليون كلفن أو درجة مطلقة (عن Bersani ,et al., 1983 ، المرجع 14 ، ص . 268) .

←ويخضع تراتب توضع هذه الطبقات لفعل التقلص الناجم عن قوة الثقالة خلال سيرورة تطور النجم كتابع لدرجة حرارة كل طبقة من هذه الطبقات . وكما سنعرض في النص، فإن قلب النجم يتألف من الحديد ومن مزيج من عناصر، تتراوح كتلها الذرية ما بين 50 و 60. ويعتبر الحديد أشد العناصر استقراراً، وينهي تشكله سلسلة التركيب النووي . وتعد قوة الربط النووي في هذه العناصر (وبخاصة الحديد) أعلى قوة في العناصر كافة، وتبلغ قرابة 8.7 مليون إلكترون فولط (أي إن درجة حرارة تحطم هذه الرابطة يزيد عن 87 مليار كلفن) . وعندما تتجاوز درجة حرارة قلب النجم خمسة مليارات كلفن، تصبح مادة القلب هذا في حالة توازن مع الإشعاع المنبعث (أو إشعاع الجسم الأسود، يرجع إلى الفقرة 3.1.3 والحاشية 2.3) الذي تنقله فوتونات غاما والتي تكون طاقتها كافية لتلاشي (لانشطارات) نوى هذه العناصر وفقاً للتفاعلات التالية[14] :

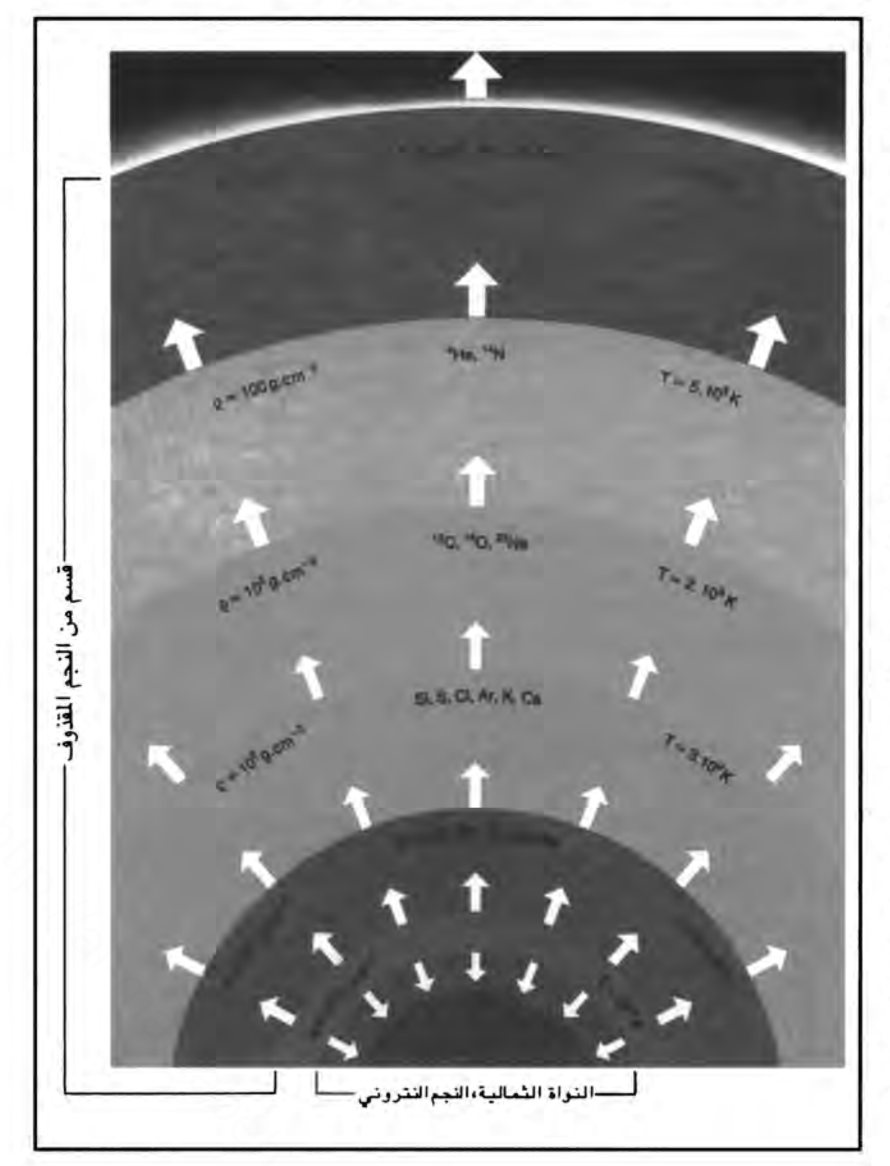
$$\text{gamma} + Ni^{56} \longrightarrow 14He^{4}$$
$$\text{gamma}+Fe^{54} \longrightarrow 13He^{4}+2n(\text{nucleon})$$
$$\text{gamma} + Fe^{56} \longrightarrow 13\ He^{4} + \ 4n\ ,\text{ets}$$

ويستجر كل تلاش نووي ضوئي غازاً، تبلغ طاقته مئة مليون إلكترون فولط ، أي ما يكافئ مليون مليون كلفن . وكما سنعرض في النص ، فإن هذه التفاعلات ماصة الحرارة endothermic ، endothermique تكسر التوازن الحراري و «المائي» السكوني في قلب النجم ، مسببة انهيار هذا القلب ليرتص على نفسه . وتمسك عندئذ الطاقة الثقالية المتحررة من هذا التقلص بذلك الانهيار مضخمة إياه، الأمر الذي يرفع كثيراً من حرارة القلب إلى درجة تتلاشى معها جسيمات ألفا أو نوى الهليوم . وفي حال من هذا النمط ، لن تتمكن الإلكترونات من أن تخترق حاجز مبدأ الاستبعاد لـ «باولي» (أي ينحشر أكثر من إلكترونين في مدار واحد مما يؤدي إلى التنكس الإلكتروني)، فترتص ارتصاصاً شديداً على نكليونات (البروتونات والنترونات) النواة، ولكن دون أن تزداد طاقتها الحركية ازدياداً كبيراً . بيد أن قلب النجم يتحول بسرعة إلى غاز من النترونات، والبروتونات، والإلكترونات، اخترقت كلها الآن مبدأ الاستبعاد . وتتفوق عندئذ طاقة الإلكترونات على طاقة الارتباط بالبروتونات، فيتم امتصاصها بكميات كبيرة من قبل البروتونات وعلى نحو شوشي من حيث الانتظام . وبزوال الضغط الذي كان يمارسه تراتب الإلكترونات والبروتونات والنترونات في البنية السوية ، فإن ارتصاص القلب على نفسه يتزايد باستمرار ، ولن يتوقف إلا عندما←



النووي nucleosynthesis، nucléosynthèse، (موضوع سنعرض له في القسم الثاني من هذا الكتاب انظر - من أجل التفاصيل- الفقرة 4 . 1)، عن تحول طاقة التفاعلات النووية إذاً إلى طاقة حركية . أمَّا انهيار قلب النجم وارتصاصه على نفسه، فينشأ نتيجة فعل قوة الثقالة في درجات مرتفعة جداً من الحرارة . ويمكن القول بشيء من التبسيط إنَّ سيرورات تشكل المستعر الفائق والنجم النتروني تنجم بصورة أساسية عن نوعين رئيسين من القوى : النووية الشديدة (انفجار الطبقات الخارجية)، والثقالة (انهيار قلب النجم منسحقاً على نفسه) . وتجدر الإشارة (في هذا السياق) إلى أنَّ سيرورة

←تقترب النترونات بعضها من بعض مسافة تقل عن 1 فيرمي(10^{-13} من السنتي متر) (التكس النتروني، انظر الفقرة التالية)، فيفعل القسم النابذ من القوة النووية الشديدة فعله، ويتشكل لدينا نجم نتروني، وأحياناً نجم نتروني نابض . ويستجر انهيار القلب بعنف قسماً من الطبقات الخارجية إلى الداخل . فيُضغط هذاالقسم بشدة بفعل قوة الثقالة، كما ترتفع حرارته ارتفاعاً مفرطاً . وتسبب الطاقة النووية الحرارية الناجمة عن هذا الانضغاط والتسخين الشديدين قذف هذا القسم من النجم في الفضاء بين النجوم . ويحدث ذلك على شكل انفجار هائل، وسطوع، وفيض من الأشعة السينية يفوق سطوع شموس المجرة بكاملها . وقد تتشكل من المواد المقذوفة كواكب من الجيل الثاني أو الثالث (كوكب الأرض مثلاً) .

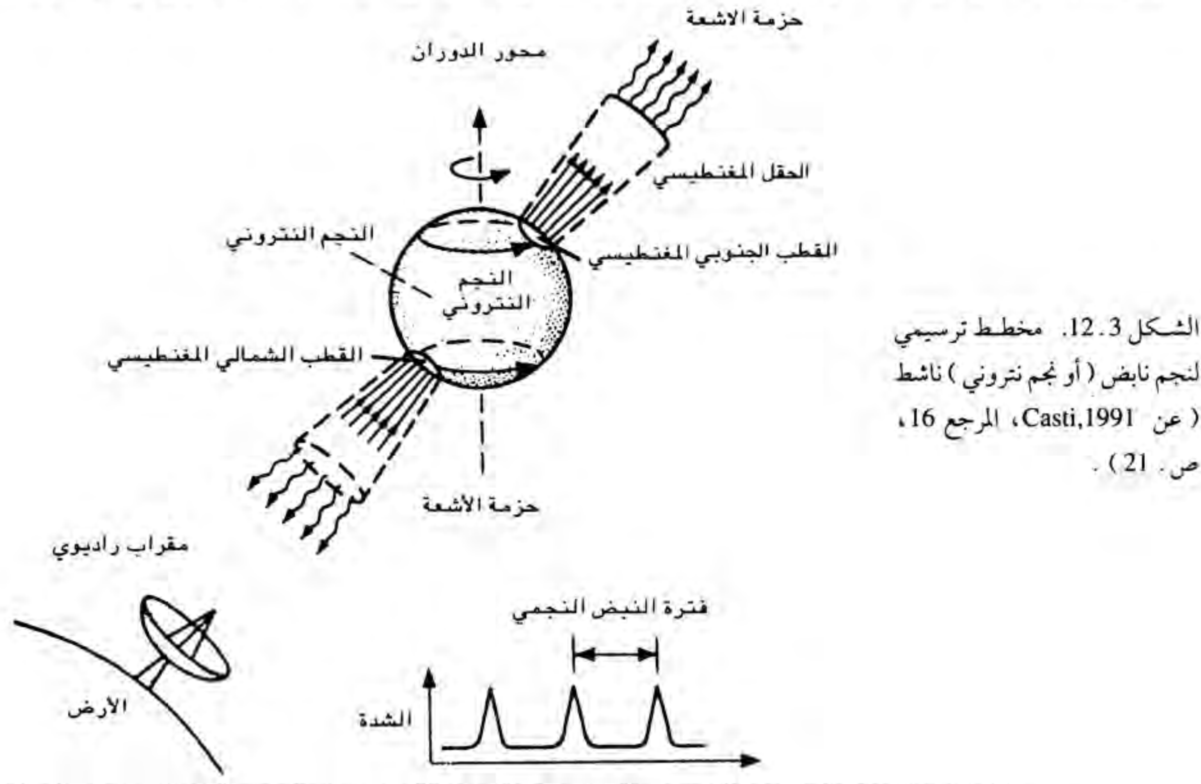


الشكل 3 . 11. مخطط ترسيمي لبنية مستعر فائق تبلغ كتلته 20 ضعفاً كتلة الشمس . يؤدي التلاشي الضوئي للحديد في قلب أي نجم ضخم إلى انفجار غلافه الخارجي ، وإلى انسحاق لبه ، متحولاً إلى نجم نتروني ، أو إلى نجم نابض . ويصبح النجم ، والحالة هذه ، مؤلفاً من طبقات شبه منتظمة ، تلي الواحدة منها الأخرى ، وتتزايد درجات حرارة (T) هذه الطبقات ، وكذلك كثافاتها (ستًا ، أو دتًا) مع تزايد عمقها باتجاه اللب حيث تتم سيرورات التركيب النووي . وتتغاير (بناء على ذلك) البنية الكيميائية لهذه الطبقات، حيث تتزايد الكتل الذرية للعناصر المؤلفة لهذه الطبقات، بدءاً من الهدرجين في الجو الخارجي الغازي للمستعر الفائق إلى الحديد في اللب، مروراً بالهليوم والآزوت والكربون والأكسجين . . . ومـا إن تُقذف في الوسط بين النجوم لدى انفجار المستعر الفائق ، فإن هذه العناصر تشكل إما نجوماً جديدة ، أو إنها تُغني الوسط بين النجوم (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 269) .



احتضار النجم، قد تؤدي إلى تشكل نجم نتروني ذي قلب نابض، يصدر نبضات موجية سريعة جداً ودورية، تتراوح مدة إصدارها ما بين أجزاء من مئة من الثانية وبضع ثوان. وتقع أطوال الموجات الصادرة بصورة أساسية في مجال أمواج الراديو (ما بين 1 و 1000 متر، يرجع إلى الجدول 1 . 1)، ولكن يمكن أن تكون أطوال هذه الأمواج في المجالات الأخرى (من السنتي مترية إلى أشعة غاما، مروراً بالمرئية وفوق البنفسجية والسينية). ولقد أطلق على هذا النجم ذي النبضات الدورية اسم النجم النابض pulsar(8 .3) (كلمة اشتقت من دمج ثلاث كلمات pulsating radio source، أي المصدر الراديوي النابض). وتتوازن في أثناء حياة النجم (كالشمس مثلاً) قوة ضغط طبقاته القشرية مع قوة الثقالة التي تتجاذب طبقاته الداخلية. ويشرع هذا التوازن بالاختلال عندما يبدأ وقود النجم (الهدرجين على وجه التخصيص) بالنفاد.

(3 . 8) تم اكتشاف النجم النتروني النابض pulsar عام 1967 من قبل الإيرلندية «جوسلين بل» Jocelyn Bell التي كانت تقوم ببحث في علم الفلك لنيل درجة الدكتوراه تحت إشراف «أنتوني هيويش» Anthony Hewish (1924) في كمبردج. لقد لاحظت «بل» أن إشارات ذات طول موجة راديوية، تصدر كل يوم أرضي (أي الفترة التي تستغرقها الأرض لتدور دورة كاملة حول نفسها، وتبلغ 23 ساعة و56 دقيقة)، وتستمر 3 . 1 ثانية تقريباً. واعتُقد في البدء أنَّ هذه الإشارات (وبسبب من نظاميتها ودوريتها) رسائل ذكية، تُبث من مصدر بشري، أطلق على مرسليها اسم «الرجال الصغار الخضر» Petits Hommes Verts, Little Green Men . ولقد أمكن التحقق بسرعة من أنَّ هذه الإشارات تصدرعن نجم نتروني (الشكل 3 . 12)[16] ومع أنَّ الاكتشاف الأساسي تحقق على يد «جوسلين بل»، فإن لجنة نوبل منحت الجائزة في عام 1974 الخاصة بالفيزياء ولأول مرة لاثنين من علماء الفلك هما: «مارتن رايل» Martin Ryle و«أنتوني هيويش» وأغفلت اللجنة اسم «جوسلين بل». ولقد تكرر ويتكرر من قبل لجنة نوبل إغفال أسماء باحثين أسهموا بشكل أو بآخر في الاكتشاف المعني. ونذكر على وجه التخصيص (بالإضافة إلى «جورج غاموف» عام 1978)، الإغفال المؤسف الذي حدث عام 1962 عندما منحت الجائزة لاكتشاف بنية حلزون DNA المزدوج، والإغفال الصارخ عام 1989 لإكتشاف الفعل التحفيزي لِـRNA، ARN . ولقد تناول الاستبعاد في الحالتين الأخيرتين باحثين إحداهما بريطانية والثانية فرنسية. ونعتقد بأنَّ مسؤولية هذا الاستبعاد تقع بالوزر نفسه على عاتق الباحثين الذين نالوا الجائزة من جهة، وعلى عاتق أعضاء لجنة جائزة نوبل من جهة أخرى.



الشكل 3 . 12. مخطط ترسيمي لنجم نابض (أو نجم نتروني) ناشط (عن Casti,1991، المرجع 16، ص. 21).

16 . Casti, J., "**Paradigmes Perdus , La Science En Question**" , Intereditions, Paris, Pp. 18-27 (1991).



ويتألف قلب النجم الذي دخل مرحلة الاحتضار (مرحلة ما قبل المستعر الفائق) من الحديد ومزيج من العناصر (بعضها مستقر أي لا يعاني انشطارات أو يصدر إشعاعات نووية، وبعضها الآخر في وضع استحالي غير مستقر تصيبه الانشطارات ويصدر إشعاعات نووية)، يتألف قلب النجم إذاً من الحديد ومن مزيج من العناصر المجاورة للحديد (ذات الكتل الذرية ما بين 50 و 60)، حيث تكون القوة النووية في أقصى شدة لها. وفي درجة حزارة معينة، يكون قلب النجم في حالة توازن مع طبقاته الخارجية بإصداره أشعة من نمط فوتونات غاما. وتكون طاقة هذه الأشعة قادرة على إنشاء تلاشٍ ضوئيphotodisintegration، photodésintégration (انظر، من أجل التفاصيل، الفقرة 1.4)، يستجر الغازَ من الطبقات الأقرب إلى السطح. وتقضي هذه السيرورة على التوازن الحراري و«المائي» السكوني hydrostatic، hydrostatique الذي كان سائداً في قلب النجم حتى هذه اللحظة، فيشرع قلب النجم بالانهيار على نفسه، وتتحرر في أثناء هذا الانهيار التقلصي قوة ثقالية هائلة، تمسك بهذا الانهيار مضخمة إياه، الأمر الذي يسبب ارتفاع حرارة قلب النجم إلى درجة يصيب التلاشي فيها نوى الهليوم (جُسيمات ألفا). وتتوقف في هذه المرحلة حادثات التركيب النووي، وتصبح غازات القلب مؤلفة من النترونات، والبروتونات، والإلكترونات الحرة. وسرعان ما ترتفع طاقة الجملة إلى درجة يتعذر فيها على البروتون أن يحتفظ احتفاظاً سوياً بإلكترون، ويتحول إلى نترون. ويتم بسرعة (في شروط هذه الجملة) امتصاص كميات كبيرة من الإلكترونات امتصاصاً غير عادي من قبل البروتونات، الأمر الذي يجرد الجملة من العناصر التي كانت مسؤولة عن القسم الأساسي من الضغط الذي يحمي البنية النظامية للنواة وللإلكترونات التي تدور في كنفها. أي إن طاقة الجملة تقلل المسافات الذرية بين النترونات خاصة، ويتم بذلك اختراق مبدأ الاستبعاد لـ «باولي».

ولا يتوقف انهيار قلب النجم إلا عندما تقترب النترونات بعضها من بعض إلى أقل من جزء من عشرة آلاف مليار من السنتي متر، أو 1×10^{-13} سنتي متر، أو ما يعرف بالفيرمي، نسبة إلى «إنريكو فيرمي» (يرجع إلى الحاشية 15.1)، وتبدأ قوة التنابذ النووي بإبداء تأثيرها. وهكذا يتشكل النجم النتروني، وأحياناً النجم النتروني النابض. وتبلغ المدة بين بدء الانهيار وتشكل النجم النتروني بضع دقائق فقط. ويتم في أثناء هذا الانهيار استجرار قسم من الوقود النووي للطبقات الخارجية للنجم إلى قلب النجم. فينضغط هذا القسم، ويسخن بعنف شديدين، وتتسبب الطاقة النووية الحرارية الهائلة الناجمة عن هذا الضغط والتسخين في تمزق الطبقات الخارجية، وحدوث الانفجار الهائل للمستعر الفائق، وتحرر فيض مذهل من الأشعة السينية.

وتبلغ القيمة المطلقة للطاقة المتحررة خلال بضع لحظات والناجمة عن انفجار المستعر الفائق 10^{15} إرغ. وتكافئ هذه الطاقة الهائلة كامل الطاقة الإشعاعية المتحررة من الشمس خلال تسعة مليارات عام [أي كامل الطاقة التي تتحرر من الشمس منذ ولادتها (أي قبل 4.6 مليار عام) وحتى موتها (أي بعد خمسة مليارات عام تقريباً)]. وتبلغ أحياناً سرعة قذف المواد، نتيجة هذا الانفجار الهائل، أكثر من عشرين ألف كيلومتر في الثانية.

2.3.3. النجوم النترونية

إنَّ مبدأ الاستبعاد لـ «باولي» (يرجع إلى الحاشية 14.1) مسؤول عن بنية المادة كما نعرفها عامة، وبنية الأجسام الكونية (وبخاصة المجرات والنجوم والكواكب). فوفقاً لهذا المبدأ، وكما كنا عرضنا سابقاً، لا يمكن لأكثر من جُسيمين

عنصريين (الإلكترونات والبروتونات والنترونات مثلاً) لهما الخصائص الكمومية نفسها (الكتلة أو الشحنة أو سرعة الاندفاع . . .) أن يحتلا موقعاً واحداً. بل إنَّ كل جُسيم يقطن حجيرة تحت ذرية أو مداراً تحت ذري. إنَّ هذا الانتظام الاستبعادي للجُسيمات العنصرية يستدعي وجود مسافات حدية غير متاح للجُسيمات أنَّ تتجاوزها، ليقترب بعضها من بعض أكثر من العتبة الدنيا التي يستوجبها مبدأ الاستبعاد. وتقاس هذه المسافات (بين إلكترونين أو بين نترونين، أو بين بروتونين، أو بين إلكترون ونترون . . .) بوحدة تعرف بالفيرمي (يُرجع إلى الحاشية 7.3)، وتبلغ 1×10^{-13} سنتي متر (أي جزء من عشرة آلاف مليار من السنتي متر). إنَّ هذه المسافات دون الذرية تنشئ (وبخاصة في الأجسام الكونية) ضغطاً ذاتياً يقاوم فعل الثقالة الذاتية للجسم الكوني، ويبقى الجرم السماوي (الشمس مثلاً) على شكله الكروي المسطح قليلاً بفعل التجاذب الثقالي بين الجرم أو الجسم السماوي والأجرام القريبة منه. ولكن إذا أُتيح لقوة الثقالة أن تمسك ببعض أنواع النجوم وذلك عندما يبدأ وقودها النووي الحراري (الهدرجين والهليوم خاصة) بالنفاد، ويشرع الضغط النابذ لسطح النجم بالانهيار، فإن هذه القوة تقسر جُسيمين نوويين على احتلال موقع واحد، ويشرع قلب النجم بالانهيار مرتصاً على نفسه، ذلك أنَّ قوة الضغط التي كانت قد نشأت نتيجة المسافات الحدية بين الجُسيمات العنصرية (بسبب مبدأ الاستبعاد) تشرع الآن بالتلاشي أمام قوة الثقالة الهائلة.

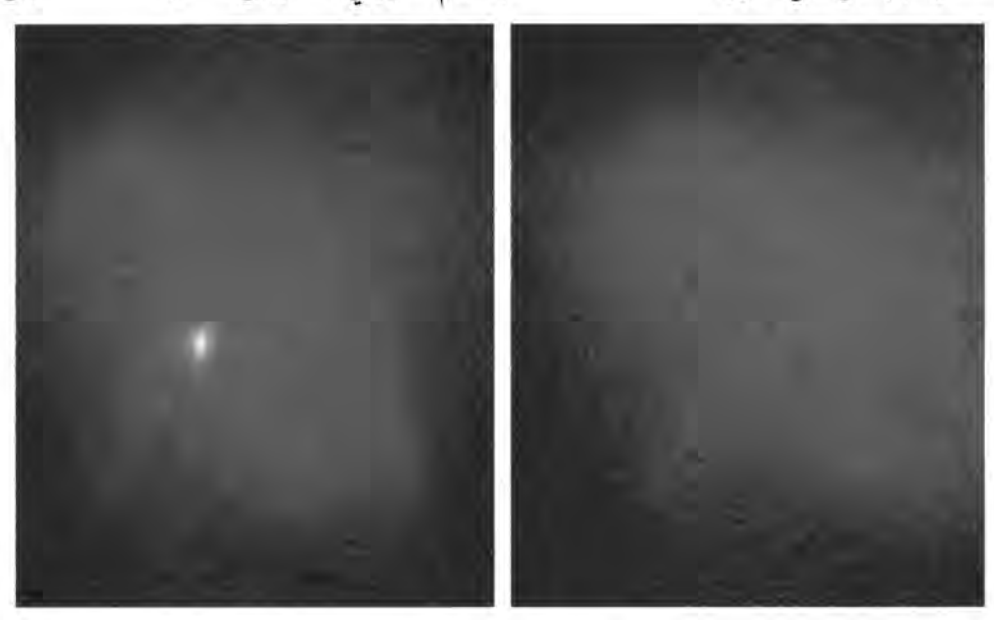
فإذا أصاب الارتصاص بصورة رئيسة النترونات، فإن هذه تبدأ بالتنكس (التحلل). ولا يتوقف الارتصاص إلا عندما تبني هذه النترونات المتنكسة ضغطاً يوقف فعل الثقالة، ويتحول النجم عندئذ إلى نجم نتروني. أمَّا إذا أصاب الارتصاص بصورة رئيسة الإلكترونات، فإن هذه تأخذ بالتنكس، ولا يتوقف هذا الانهيار التراصي إلاَّ عندما تنشئ هذه الإلكترونات المتنكسة ضغطاً يعاكس فعل قوة الثقالة، ويوقفه عن فعله التراصي، فيتحول النجم عندئذ إلى قزم أبيض. وسواء في حال النجم النتروني، أو القزم الأبيض، فإنَّ كثافة المادة تصبح هائلة، إذ يبلغ وزن السنتي متر المكعب الواحد من النجم النتروني مئات ملايين الأطنان، ومن القزم الأبيض عشرات الأطنان. وخلاصة القول، يؤدي التنكس النتروني إلى تشكل نجم نتروني، والتنكس الإلكتروني إلى قزم أبيض. وفي الحالتين كلتيهما، وكما هي الحال في تنكس النسج الحية، تزول البنية السوية، وتحل مكانها بنية شوشية، تختلط فيها العناصر بعضها ببعض.

وكما كنا عرضنا غير مرة (يُرجع على وجه التخصيص إلى الفقرتين 3 . 1 . 5 و 3 . 4 . 1)، فإن مصير النجم يتوقف بصورة أساسية على كتلته. فإذا تجاوزت الكتلة الحرجة للنجم 6 . 7 كتلة الشمس، فإنَّ موت النجم سينتهي بمستعر فائق ونجم نتروني، وأحياناً بنجم نتروني نابض. أمَّا إذا كانت هذه الكتلة أقل من 6 . 7 وأعلى من 44 . 1 كتلة الشمس (حد «شندراسيخار»)، فإنَّ النجم سيتحول إلى نجم نتروني، وأحياناً إلى نجم نتروني نابض، دون المرور بمرحلة المستعر الفائق. وينتهي النجم الذي تقل كتلته الحرجة عن 44 . 1 في معظم الأحيان إلى قزم أبيض (انظر الشكل 3 . 14).

وكما كنا أشرنا في الفقرة السابقة، فإن النجم ينهار مرتصاً على نفسه تحت تأثير ثقالة مادة النجم[14] ففعل الثقالة يدفع بالإلكترونات إلى داخل النواة، وتتحول كل البروتونات إلى نترونات، منتهكة مبدأ الاستبعاد لـ «باولي» (يُرجع إلى الحاشية 14.1). وما إن تمتلئ فراغات النواة كافةً، حتى تأخذ النترونات بالتنكس degenerate، dégénéré كلياً (أي أنَّ مادتها تصاب بالتحلل). وتبدي عندئذ هذه النترونات المتنكسة ضغطاً يوقف الانهيار التراصي الناجم عن فعل الثقالة.



ويتميز النجم النتروني بقطره الصغير نسبياً (الشكل 3 . 13). إنَّ النجم النتروني الذي تضارع كتلته كتلة الشمس ذو قطر يبلغ 30 كيلو متراً فقط، بيد أنَّ كثافته مذهلة. ذلك أنَّ السنتي متر المكعب الواحد منه يزن قرابة مليار طُن. وبسبب قوة جاذبية (ثقالة) هذه الكتلة، فإنَّ قطعة النقود التي تترك لتسقط على سطح النجم النتروني، تنجذب إليه بسرعة (حُسبت نظرياً) تبلغ 000 150 كيلو متر في الثانية (أي نصف سرعة الضوء). كما أنَّ درجة حرارة النجم النتروني هي من رتبة عشرة ملايين درجة مطلقة أو كلفن. ونظراً لصغر حجمه عادة، فإنه يستحيل رصد النجم النتروني بالأدوات البصرية. ولا يمكن لكتلته في جميع الحالات أن تتجاوز ثلاثة أضعاف كتلة الشمس. أمَّا إذا تجاوزت ذلك المقدار، فإنَّ قوة الثقالة، وبسبب من فعل النترونات المتنكسة، تمسك بالنجم النتروني، فلا يبقى أمامه إلاَّ الاستحالة إلى ثقب أسود.



الشكل 13.3 . منارتان كونيتان بالألوان الطبيعية : النجم النابض « السرطان » ، والنجم النابض « فيلا » Vela ، بين المئات القليلة المعروفة من النجوم النابضة أو النجوم النترونية . ويترافق هذان النجمان النابضان مع بقايا من المستعرين الفائقين اللذين أديّا إلى تكون هذين النجمين النترونيين اللذين يعتبران فتيين من حيث ولادتهما : فالنجم النابض « السرطان » ولد عام 1054 ، في حين أن « فيلا » وُلِدَ قبل 800 11 عام . وبسبب من حداثتهما ، فإن الأول يدور بسرعة قدرها 30 دورة في الثانية ، بينما يدور «فيلا» 11 دورة في الثانية . وتترافق كل دورة بإصدار دفعة كهرطيسية . ولقد تم اكتشاف النجم النابض « السرطان » ضوئياً بوساطة الراديو عام 1969 ، في حين أن « فيلا » اكتشف عام 1977 (عن Bersani ,et al., 1983 ، المرجع 14 ، ص.(271).

يمكـن الـقـول (بـالإضـافـة إلى مـا تـقـدم) إنَّ هنالك سمتين رئيستين للنجم النتروني : دورانه السريع حول نفسه (تدويمه)، وحقله المغنطيسي المرتفع. وكما هو معلوم، فإنَّ النجوم، والكواكب، والأجرام الفلكية كافةً (بما في ذلك المجرات والأبراج ـ تعنقدات أو حشود المجرات) تدور حول نفسها، إنما ببطء. ولكن ما إن ينهار النجم مرتصاً على نفسه، حتى تزداد سرعة تدويمه زيادة كبيرة (تماماً كما تتعاظم سرعة الراقص على الجليد عندما يضم ذراعيه إلى صدره). ويمكن للنجم النتروني أن يدور حول نفسه عدداً من المرات في الثانية الواحدة.

وكما هو معلوم أيضاً، فإن للأجسام الفلكية كافةً حقلاً مغنطيسياً ضعيفاً، تقارب قيمته قيمة الحقل المغنطيسي الخاص بالأرض. ولكن ما إن يرتص النجم على نفسه (ويتضاءل حجمه)، حتى يزداد الحقل المغنطيسي ازدياداً كبيراً،



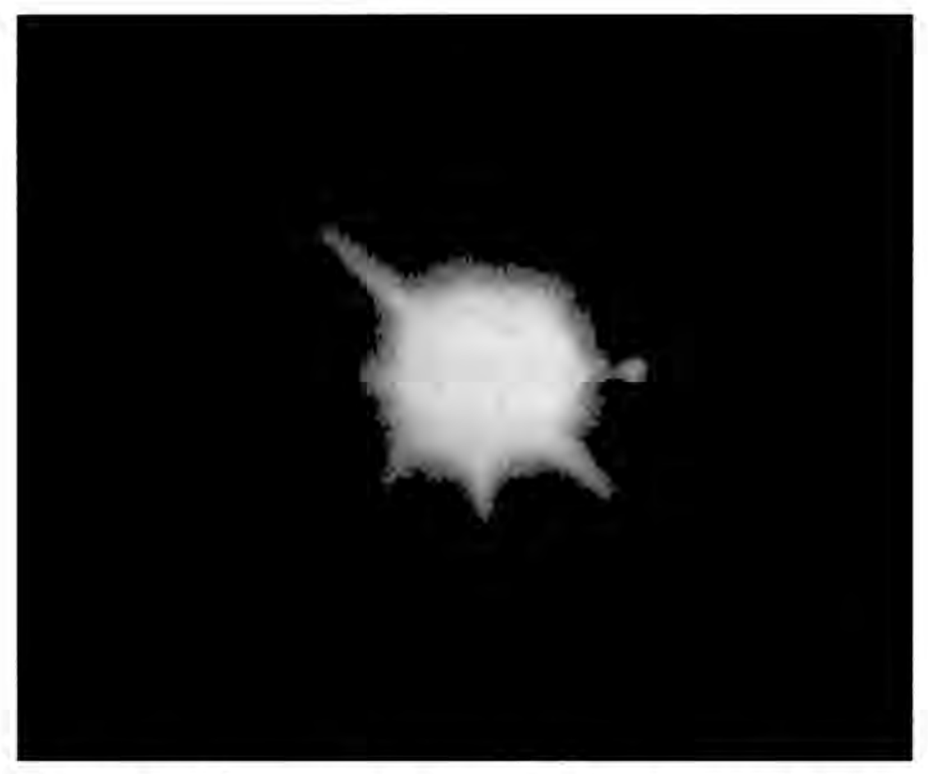
ذلك أنَّ هذا الحقل يتركز في مساحة تتضاءل باستمرار. لذا فإن للنجم النتروني حقلاً مغنطيسياً من رتبة ألف مليار غوس gauss، أي يفوق قيمة الحقل المغنطيسي للأرض بألفي مليار مرة. وتجدر الإشارة إلى أنَّ هاتين السمتين (التدويم، والحقل المغنطيسي) كانتا السبب في اكتشاف النجم النتروني النابض (يرجع إلى الحاشية 3 . 8 والشكل 3 . 12). وتجدر الإشارة إلى أن الـغـوس (نسـبـة إلى «كارل فريدريخ غوس» Carl Friedrich Gauss، 1777-1855, الفلكي والرياضي والفيزيائي الألماني) هو وحدة التحريض المغنطيسي.

3 . 3 . 3. الأقزام البيض

إنَّ لبعض النجوم كتلة حرجة تقل عن 1.44 كتلة الشمس (حد «شندراسيخار»، يرجع إلى الفقرات 3 . 1 . 5 و 3 . 4 . 1 و 3 . 4 . 2). فعندما يستنفد معظم وقوده النووي الحراري (ويتحول الهدرجين إلى نوى هليوم خاصة)، فإنَّ النجم يبدأ بالاحتضار، مستسلماً لفعل قوته الثقالية الذاتية[14] وعوضاً عن أن تدور الإلكترونات في مداراتها حول النواة، وتنشئ في الحالة العادية (هي وبروتونات النواة ونتروناتها) ضغطاً يقاوم فعل الثقالة الذاتية، فإنَّ الإلكترونات، وبفعل قوة الثقالة الساحق، تنتهك (والحالة هذه) مبدأ الاستبعاد لـ«باولي»، فتقترب كثيراً من بعضها، وتحتل مواقع كان يحظر عليها هذا المبدأ أن تستقر فيها، فتأخذ هذه الإلكترونات بالتنكس كما يحدث للنترونات عند تشكل النجم النتروني. ولا يتوقف هذا الانهيار التراصي الإلكتروني إلا عندما تنشئ الإلكترونات المتنكسة ضغطاً يعاكس فعل الثقالة الذاتية، ويتحول النجم إلى قزم أبيض، تبلغ كثافته عشرات الأطنان للسنتي متر المكعب الواحد، وتحتل قلبه بلورة هائلة الحجم والكثافة، وتكون آخذة بالتبرد (الشـكل 3 . 14).



الشكل 3 . 14ـأ. طليعة قزم أبيض (بالألوان الطبيعية) في السديم الحلقي M57 (NGC6720) لكوكبة (برج) القيثارة . تبعد هذه الكوكبة عن الشمس قرابة 600 فرسخ نجمي ، وتعد من أجمل الأجسام الكونية التي يمكن رؤويتها بمنظار جيد التقريب ، واكتشفت عام 1779 . ويمر النجم الأزرق في مركز الحلقة بمرحلة تَبَرّد القزم الأبيض . ولقد شرع النجم بقذف مادته في الفضاء قبل 6 آلاف عام تقريباً . ويمثل اللون الأخضر الداخلي الآزوت والأكسجين المثارين بالأشعة فوق البنفسجية، التي تصدر عن النجم المركزي. في حين يمثل اللون الأحمر المحيطي الهدرجين المثار أيضاً بما يتبقى من هذه الأشعة (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 265) .



الشكل 3 .14ـ ب . « الشَعْرَى اليمانية » Sirius ورفيقها القزم كما يلاحظان بالعين المجردة . وتُعَدُّ الشَعْرَى اليمانية أكثر النجوم تألقاً في السماء ، وتقع في كوكبة « الكلب الأكبر » Canis Majoris . ولا تُرى في نصف الكرة الشمالي إلاَّ في ليالٍ محددة من العام . وكان ظهورها في مصر أيام الفراعنة نذير فيضان السماء ، وانقلاب الشمس الصيفي ، وحدوث أيام الشَعْرَى اليمانية Canicula (من Canis ، الكلب) . تبعد عن الشمس 2.7 فرسخاً نجمياً ، واكتشفت عام 1834 ، ولم يكتشف رفيقها القزم إلاَّ بعد 28 عاماً (عام 1862) . ويبلغ حجم الشَعْرَى اليمانية ضعف حجم الشمس . ويقل توهج القزم الأبيض (رفيق الشَعْرَى اليمانية والذي يظهر في الصورة على اليمين ـ الساعة الثالثة ـ ككرة صغيرة بيضاء) عشرة آلاف مرة عن توهج الشَعْرَى اليمانية نفسها (التي أُعطيت الرمز A ، في حين أن القزم الأبيض المرافق أُعطي الرمز B) . ومع أن كتلة القزم الأبيض تساوي كتلة الشمس ، فإن قطره يبلغ (بالكاد) خمسة أمثال قطر الأرض (بسبب كثافته الهائلة) (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص. 264) .

أمَّا في ما يتعلق بدرجة حرارة قلب القزم الأبيض، وعلى الرغم من برودته الظاهرية، فتبلغ قرابة مليون درجة مطلقة أو كلفن، مقابل عشرة ملايين درجة في قلب الشمس. وعلى الرغم من برودة قلب القزم الأبيض، فإنَّ سطحه وجوه أشد سخونة من سطح نجم عادي ومن جوه. ويمكن لدرجة حرارة سطوح بعض الأقزام البيض أن تصل إلى مئة ألف كلفن، وتتدنى في أقزام أخرى إلى أربعة آلاف درجة مطلقة. ومع أنَّه توجد أقزام بيض ذات سطوح أقل سخونة، فإنَّه يصعب رصد مثل هذه الأقزام الباردة.

وبغض النظر عن درجة حرارة سطح القزم الأبيض وجوّه، فإنَّ سطوعه يظل خافتاً. وكما هي الحال في ما يتعلق بالنجم النتروني، فإنَّ القزم الأبيض يتمتع بحقل مغنطيسي هائل، وذلك بسبب تركز الحقل الأصلي للنجم بسطح القزم الأبيض ذي القطر الضئيل. ويمكن للحقل المغنطيسي لبعض الأقزام البيض أن يصل إلى مليار ضعف الحقل المغنطيسي للشمس. وكما هي الحال في النجم النتروني أيضاً، فإنَّ القزم الأبيض يدور حول نفسه بسرعة كبيرة نسبياً، إذ تبلغ سرعة



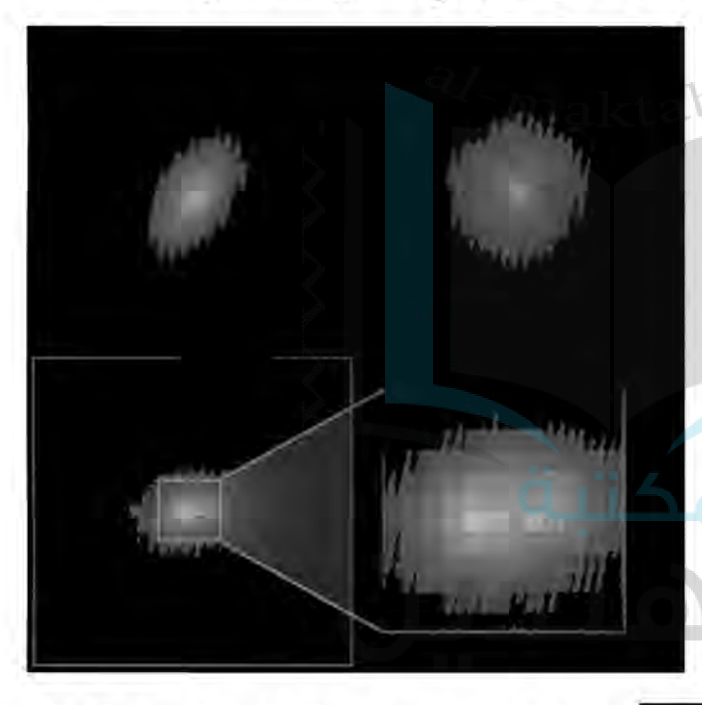


التدويم عشر ثوانٍ، في حين أن دوران الشمس حول نفسها يستغرق قرابة شهر كامل، وتستغرق دورة الأرض حول نفسها يوماً أرضياً (أي 23 ساعة و56 ثانية، يرجع إلى الحاشية 3 . 8).

3 . 3 . 4. الثقوب السود

يمكن تعريف الثقب الأسود بأنَّه الجسم الذي تكون قوته الثقالية (أو التثاقلية) على درجة من الشدة بحيث لا يمكن لأي جسم آخر، أو لأي مادة، أو لأي أشعة (بما في ذلك الضوء) أن يفلت منه، بل يرتشفه بقوة هائلة إلى جوفه، ليختفي من الكون القابل للرصد، كمن يدخل جحيم «دانتي» في الكوميديا الإلهية (يرجع إلى الفقرة 1 . 3 . 1): «أنتم يا من تدخلون هنا، عليكم أن تفقدوا أي أمل في الخروج».

وكما كنا عرضنا في الفقرات الثلاث السابقة، فإنَّ انهيار الجرم السماوي مرتصاً على نفسه تحت تأثير ثقالته الذاتية (أو تثاقله الذاتي) يتم عندما يستنفد هذا الجرم وقوده النووي الحراري (وبخاصة الهدرجين والهليوم). فإذا كانت كتلته تتراوح ما بين 6 . 7 و 44 . 1 كتلة الشمس، فإنه يتحول إلى نجم نتروني، ماراً بالقيم الأعلى (6 . 7 كتلة الشمس على الأقل، أو ما يعرف بالكتلة الحرجة) بمرحلة المستعر الفائق. أمَّا إذا كانت كتلة النجم تقل عن 44 . 1 كتلة الشمس (حد «شندراسيخار»، يرجع إلى الفقرة 3 . 1 . 5)، فيتحول النجم عندئذ إلى قزم أبيض. ويشترط في تشكل النجم النتروني (أو القزم الأبيض) أن تنشئ النترونات المتنكسة (في حالة النجم النتروني)، أو الإلكترونات المتنكسة (في حالة القزم الأبيض)، ضغطاً ذاتياً يعاكس الفعل الثقالي ويتوازن معه. أمَّا إذا لم يستطع التنكس النتروني أو الإلكتروني إيقاف الفعل الثقالي الذاتي، واستمر الانهيار الارتصاصي، فإنَّ ثقباً أسود متباين القطر يشرع بالتشكل(3 .9) (الشكل 3 . 15).



الشكل 3 .15. ثلاثة ثقوب سود، يحتل كل منها وسط مجرة من المجرات (بالألوان الطبيعية). ويُعتقد أن مجرتنا تحوي ثقباً مماثلاً لأحد هذه الثقوب. ويمكن لحجم الثقب الأسود أن يفوق مئات المرات حجم كتلة الشمس. ويعمل الثقب الأسود كمضخة كونية، تبتلع الأجسام التي تتجاوز الحافة الساكنة الدائرية ـ المخروطية للثقب الأسود (تماماً كما يحدث في دوامة الماء). إن الأجسام التي تتجاوز هذه الحافة الساكنة (بما في ذلك الضوء) تتطاول كثيراً قبل ابتلاعها إلى ما يشبه خيطاً من السباغيتي ـ المعكرونة الرفيعة) (عن Ouyed,1998، المرجع 17، ص. 47).

(3 . 9) يمكن الرجوع إلى المرجع رقم 17 المبين أدناه للوقوف على فرضية جديدة في تفسير سيرورة تشكل بداءات النجوم والثقوب السود. وتقوم هذه الفرضية في ما يتعلق بتشكل الثقوب السود على أسس تتناقض و«نظرية» الانهيار الكلي للنجم نتيجة الارتصاص الثقالي غير القابل للتوقف. وتستند هذه الفرضية على دراسات نظرية، وعلى تفسيرات خاصة لصور بثَّها مقراب «هَبْل»، وترى هذه الفرضية أنَّ تشكل الثقوب السود إنما ينجم عن قذف نفَّاثٍ للغبار الكوني بدءاً من بنية قرصية تتضخم باستمرار (قرص التضخم)، لتنتهي بتشكل نجم أو ثقب أسود. وترى ←

وتتفاوت أقطار الثقوب السود ما بين عشرات آلاف مليارات الكيلومترات (أي ما يزيد على سنة ضوئية، أو 10^{13} كيلو متر) وجزء من عشرة آلاف مليار من السنتي متر، أو 10^{-13} سنتي متر (أو 1 «فيرمي»). وتبلغ كتلته في الحالة الأولى ما بين ملايين ومليارات المرات كتلة الشمس، ويبلغ قطره في الحالة الثانية قطر جُسيم عنصري (كالبروتون مثلاً)، إنما تبلغ كتلته قرابة مليار طن. ومع أنَّ الغبار الكوني يعرقل رصد ثقوب سود في قلب مجرتنا، فإنه لمِنَ الراسخ الآن أنَّ مجرة درب التبانة تحوي ثقوباً سوداً، تتجاوز كتلة بعضها عدة مليارات مرة كتلة الشمس[17] (التي تبلغ 2×10^{30} أو ألفي مليار مليار مليار- كيلوغرام).

وتقوم الثقوب السود بدور مضخات كونية ماصَّة، تعمل على تنظيف الفضاءات بين النجوم في المجرة الواحدة، وتنقية أجوائها من الركام والغبار الكوني. كما يمكن للثقب الأسود أن يمتص مرتشفاً الطبقات الخارجية لنجم مجاور له. فتتحرر عندئذ كمية هائلة من الطاقة، يساعد وجودها الفلكيين على رصد مكان الثقب الأسود[18]. فالقوة الثقالية الهائلة لمركز الثقب الأسود لا تسبب ارتشاف الأجسام المحيطة به (بما في ذلك الفوتونات أو الضوء)، لتمتصها إلى جوفه فحسب، إنما تمنحه أيضاً خاصتين اثنتين أخريين: تركز المادة في كتلة هائلة الكثافة، وانتشار طاقة الارتشاف العنيف على شكل أشعة من كل نوع (من الأشعة ذات الأمواج الراديوية إلى أشعة غاما-يرجع إلى الجدول 1 .1-، إنما الأشعة السينية على وجه التخصيص). ومع أنَّ الفلكيين لم يرصدوا الثقوب السود إلاَّ في الستينات، فإنَّ الكثافة الهائلة للثقب الأسود دفعت منذ القرن الثامن عشر كلاً من الفلكي الفرنسي الثري المركيز «بيير سيمون لابلاس» Pierre Simon Laplace (1749-1827)، والفلكي البريطاني «جان ميتشل» John Michell للتنبؤ بوجودها.

وكما كنا أشرنا منذ قليل، فإنَّ الطاقة الهائلة التي تصدر عن الثقب الأسود، تدل الفلكيين على مكان وجوده: إما بين النجوم، أو في قلب المجرة. فالثقوب السود النجمية تصدر أشعة سينية ذات طاقة عالية جداً، وتعرف بالأشعة السينية ثنائية المصدر binary sources X، sources X binaires. إنَّ هذه الأشعة السينية ثنائية المصدر ذات الطاقة الهائلة، تصدر عن جملة كونية ثنائية النجم، لا تُرى بالبصريات المتاحة حالياً. كما أنها (كالنجوم النترونية) شديدة الارتصاص، وتصدر سيلاً من الأشعة السينية المتفردة في شدة طاقتها، وكان تم اكتشافها بوساطة السواتل. أمَّا إذا كان الثقب الأسود في جوف المجرة، فيُستدل عندئذ على وجوده بالأشعة التي يصدرها، والتي تتضاءل أطوال أمواجها من الأمتار (الأمواج الراديوية) وإلى أجزاء من مليون أو مليار من الميلي متر (الأشعة السينية وأشعة غاما). ولكن بالنظر إلى بعد الثقب الأسود ضمن جوف المجرة، فإن غالبية الترددات التي أمكن كشفها تقع في مجال الأشعة ذات الأمواج الأكثر طولاً (الأمواج الراديوية) وذلك بسبب فعل «دوبلر-فيزو» (يرجع إلى الفقرة 1 .3 .2 والحاشية 1 .10). وتكون هذه الإصدارات أشد قوة في مجرة تحوي ثقباً أسود منها في مجرة لا تحوي هذا الثقب. كما يمكن لهذه الأمواج الراديوية أن تصدر عن نجوم فائقة الكتلة، وتوجد في قلب المجرة. فالظاهرتان الكونيتان العنيفتان (إصدار الأشعة السينية ثنائية المصدر وإصدار أمواج بقية أنواع الأشعة من الراديوية حتى أشعة غاما)، تنجمان إذاً عن وجود جسم هائل الكتلة. فالنجم النتروني والثقب الأسود النجمي

←هذه الفرضية (التي تؤكد كثيراً دور قانون انحفاظ العزم الزاوي الذي يقيم علاقة وثيقة بين تغير حجم النجم وسرعة دورانه حول نفسه - تدويمه) أن قوة الثقالة الهائلة تعمل باستمرار على زيادة حجم قرص التضخم بدءاً من الغاز والغبار الكونيين. وبسبب من انحفاظ العزم الزاوي، فإنَّ هذا الغاز وهذا الغبار يتراكمان حول قرص التضخم على نحو حلزوني. كما تؤكد هذه الفرضية دور الحقل المغنطيسي في هذه السيرورة الافتراضية.

17. Ouyed , R., La Recherche **310**, 46-50 (1998).

18. Ruphy, S., La Recherche **312**, 84-87 (1998).

(بين نجوم مجرة ما)، يصدران الأشعة السينية ثنائية المصدر ذات الطاقة العالية. في حين أن النجم فائق الكتلة، والثقب الأسـود الموجودان في قلب مجرة مفرطة الفاعلية يصدران الأمواج كلها، من الأمـواج الراديوية حتى السـينية وأشـعة غاما.

ويمكن تفسير تحرر هذه الطاقة الهائلة من الثقب الأسود بسهولة ويسر. فبالتقريب، عندما يسقط جسم ما سقوطاً حراً على سطح الأرض، فإنَّ مقداراً من الطاقة (على شكل حرارة) يتحرر. وعندما يسقط جسم ما على سطح قزم أبيض أو نجم نتروني (كنا ذكرنا غير مرة، إنَّ قطعة النقود تسقط على سطح القزم الأبيض بسرعة تصل إلى نصف سرعة الضوء، أي 150 ألف كيلو متر في الثانية، وبسرعة أكبر إذا ما سقطت على سطح نجم نتروني)، فإن هذا السقوط يحرر طاقة على شكل أشعة سينية. أمَّا إذا سقط جسم ما (جرم سماوي أو نجم مجاور) في ثقب أسود (وهذا مايحدث أحياناً)، فإنَّ حقل التثاقل يكون على درجة من القوة بحيث يحول جزءاً من مادة سطح الجسم إلى طاقة وفقاً لمعادلة «آينشتاين» الشهيرة التي عرضنا لها غير مرة (أي $E=mc^2$ يرجع إلى المقدمة وإلى الحاشية 1 . 8). لذا، فإن الثقب الأسود يعد أكبر مسرع كوني لتحويل المادة إلى طاقة. ومن يدري، فقد يتحول قسم كبير من مادة الجسم إلى طاقة في أثناء ابتلاعه في جوف الثقب الأسود، ذلك أنَّ الأجسام التي تدخل الثقب الأسود لن يُكتشف لها بعدئذ في الكون القابل للرصد أي أثر.

ومع أنَّ الثقب الأسود (سواء كان بين النجوم أو في قلب المجرة) يتشارك خاصة الحقل التثاقلي الهائل (وبالتالي تركز المادة، والحقل المغنطيسي، وإصدار الأشعة) مع النجم النتروني ومع النجوم فائقة الكتلة، فإنه يمكن التمييز بين النجم النتروني والثقب الأسود النجمي بسهولة، ذلك أنَّ كتلة النجم النتروني لا يمكن أن تتجاوز ثلاث مرات كتلة الشمس. فإذا ما تجاوزت كتلة النجم النتروني هذه القيمة، فإنَّ التنكس النتروني لن يتمكن من إيقاف الفعل التثاقلي الساحق، ولا يبقى أمام النجم النتروني سوى التحول إلى ثقب أسود. ولا تتوفر حالياً أي وسائل مباشرة للتمييز بين ثقب أسود ونجم فائق الكتلة موجودين في قلب مجرة مفرطة الفاعلية، ويصدر كلاهما أمواج أشعة، تتناقص أطوالها من الأمواج الراديوية إلى الأشعة السينية وأشعة غاما. وقد تستعمل مستقبلاً الأمواج التثاقلية في التمييز بين ثقب أسود ونجم فائق الكتلة، يقطنان جوف مجرة ما مفرطة الفاعلية، وفي تعرف الثقب الأسود نفسه[14].

3 . 4. درب التبانة والمنظومة الشمسية

كما كنا عرضنا عند حديثنا عن تكون المجرات (يرجع إلى الفقرة 3 . 2 . 3)، فإن تكونها بدأ عندما أصبح عمر الكون مليار عام (أي منذ 12 مليار عام تقريباً). ونشأت هذه المجرات من الركام الكوني الذي كان توزعه متجانساً على المقياس الكِبري الكوني، وغير متجانس على المقياس الصِغري، حيث تشكلت نقاط بؤرية، كان الركام الكوني فيها أكثف (بما لا يزيد عن جزء من مئة ألف جزء) من النقاط المجاورة. لقد شكلت هذه النقاط البؤرية (بالتكاثف وفعل الثقالة) بذور مجرات المستقبل، وتعنقدات النجوم الدائرة في فلكها. وكما كنا عرضنا في ما سبق، فإنَّ قانون انحفاظ العزم الزاوي (يرجع إلى الحاشية 3 . 9) استدعى أن يأخذ هذا التكون شكلاً حلزونياً، يقيم توازناً بين القوة النابذة التي تنشأ في الطبقات السطحية (دافعة بها إلى الخارج)، وبين قوة الثقالة التي تحاول رص مادة الكتلة الآخذة بالتكون باتجاه مركزها.

وكما كنا عرضنا غير مرة، فإنَّ هذا التوازن يختل في بعض النجوم بسبب استنفادها وقودها النووي الحراري (وبخاصة الهدرجين والهليوم)، ولكون العناصر الأثقل (البيريليوم و الكربون والأكسجين وبقية العناصر التي تنشأ في سلسلة التركيب -الاندماج النووي- التي تنتهي بالحديد ذي النواة الأكثر استقراراً، والذي يختتم سلسلة التركيب هذه)،



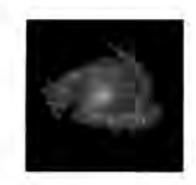
لكون هذه العناصر إذاً تُزوّد الكتلة (النجم) بطاقة أضعف من أن تنشئ في الطبقات السطحية ضغطاً نابذاً يكفي لمقاومة فعل الثقالة الارتصاصي، فينهار النجم منسحقاً على نفسه، مشكلاً (وفقاً لمقدار كتلته) مستعراً فائقاً، أو نجماً نترونياً، أو قزماً أبيض. وتتشكل من النجوم ذات الكتل الأكبر ثقوب سود، قد تمر موقتاً (في المرحلة التي تسبق الانهيار الكلي) بسيرورة تشبه سيرورة تشكل المستعر الفائق (علماً بأن هنالك ثقوباً سوداً من جميع الحجوم، وتتفاوت كتلها من كتلة تبلغ مليارات المرات كتلة الشمس حتى كتلة لا يزيد قطرها على كتلة البروتون، أي «فيرمي» واحد، أو جزء من عشرة آلاف مليار من السنتي متر، أو 10^{-13} سنتي متر). ويقذف النجم الآخذ بالاحتضار (وبخاصة المستعرات الفائقة، والنجوم النترونية) بطبقاته الخارجية على شكل انفجار هائل، وتتشكل من حطام هذه الطبقات نجوم الجيل الثاني أو أجرامه، ومن ثم أجرام الجيل الثالث، حيث تعود إلى هذين الجيلين الشمس والكواكب التي أسرتها (عُطارد والزُهرة والأرض...)، والتي تشكل مع الشمس المنظومة الشمسية. يمكننا، بعد هذا العرض المكثف، الذي يلخص ما كنا عالجناه في الفقرات السابقة، أن نشير بإيجاز إلى بعض سمات مجرتنا وكواكب منظومتنا الشمسية.

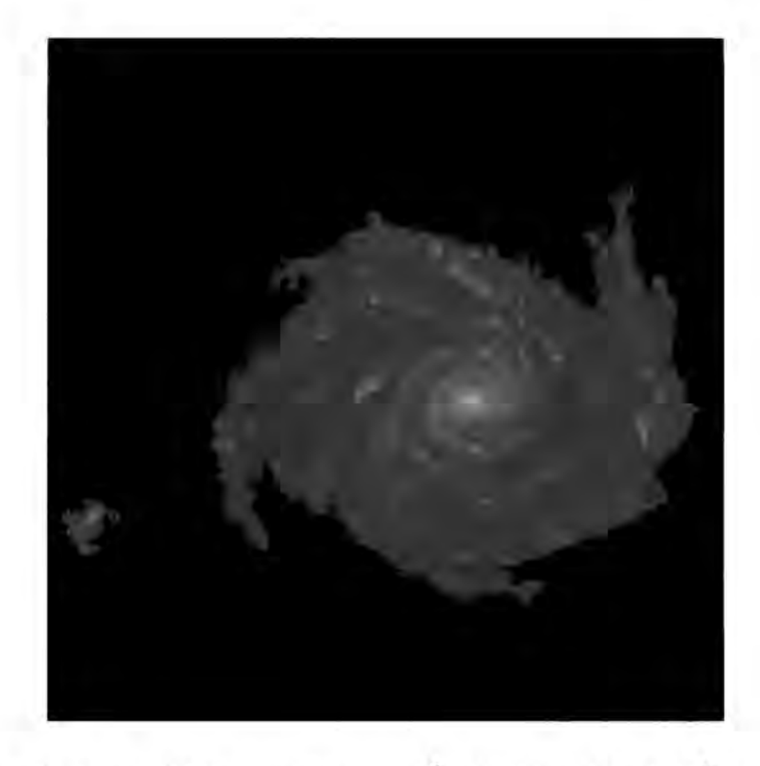
3 . 4 . 1. درب التبانة

كما كنا عرضنا في الفقرة 3 . 2 . 3 فإنَّ مجرتنا (مجرة درب التبانة) تتألف من أكثر من مئتي مليار نجم، معظمها يشبه شمسنا التي تشكل إحدى شموس هذه المجرة. إنَّ لمجرة درب التبانة شكل طبق هائل الأبعاد، ذي أذرع حلزونية (يرجع إلى الشكل 3 . 3)، ويبلغ قطر هذا الطبق مئة ألف سنة ضوئية أو 9.46×10^{17} كيلو متر، أو 30 ألف فرسخ نجمي (يرجع إلى الحاشية 3 . 6). ويبلغ ثخن محيط هذا القرص 300 فرسخ نجمي، أو قرابة 10^{16} كيلو متر، وقطر اللب ستة آلاف فرسخ نجمي، أو 2×10^{17} كيلو متر. وتحيط بدرب التبانة هالة قليلة الكثافة، لها تقريباً شكل الكرة، ويبلغ قطرها قرابة 30 ألف فرسخ نجمي، أو قرابة 10^{18}كيلومتر (الشكل 3 . 16). وتوجد في هذه الهالة النجوم المعمرة جداً (قرابة 12 مليار عام)، وتتألف بصورة أساسية من الهدرجين والهليوم (الشكل 3 . 17). أمّا اللب، فيتألف من نجوم صغيرة الحجم نسبياً، ويقارب عمرها عمر نجوم الهالة. ويحوي القرص (الذي يقع بين اللب والهالة) نجوماً تتباين في أعمارها (وفي حجومها أيضاً) ما بين الفتي جداً (بضع سنوات، يولد وسطياً ثلاثة نجوم في العام الواحد)، وبين المعمر كثيراً (12 مليار عام). وتقع المجموعة الشمسية في أحد الأذرع الحلزونية (يرجع إلى الشكل 3 . 17) التي تحتوي على كمية كبيرة من الهدرجين المتأين الذي يتشكل نتيجة الفاعلية الإشعاعية للنجوم الفتية.



الشكل 3 . 16 ـ أ. تمثيل مجرتنا، مجرة درب التبانة. لاحظ عدم تناظر تحدب القرص المركزي. تحوي مجرتنا قرابة 200 مليار نجم، تتزايد أعدادها من المحيط باتجاه المركز، ويلد وسطياً في مجرتنا كل عام ما بين نجمين وثلاثة نجوم (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 306).





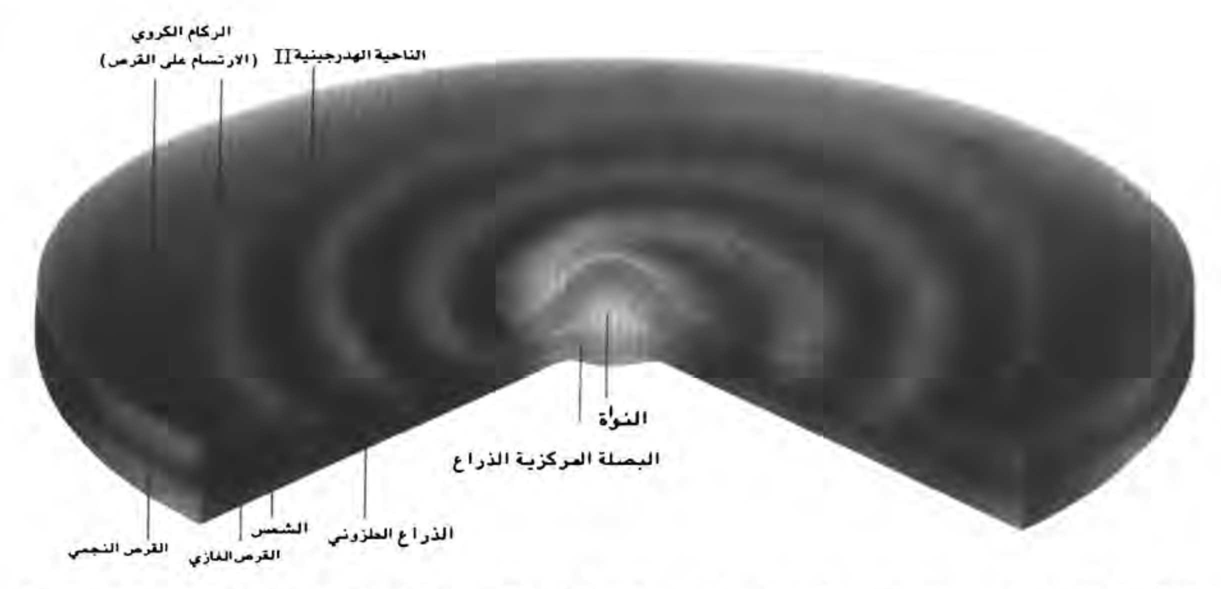
الشكل 3.16 ـ ب. صورة بالألوان الطبيعية لمجرة تماثل كثيراً مجرتنا، مجرة درب التبانة (منظر جبهي). وتعرف هذه المجرة بالرمز NGC 1231. تمثل حوافي الأذرع مناطق ولادة النجوم، وتتألف من الهدرجين الجزيئي والغبار [عن Buser, R., Science **287**، 69-74 (2000)].

أمَّا في ما يتعلق بالتركيب الكيميائي لدرب التبانة، فإنَّ ما بين 5 إلى 10 في المئة من كتلة مجرتنا يتألف من الوسط بين النجوم ذي البنية غير المتجانسة: فهنالك قسم كثيف يحوي السنتي متر المكعب الواحد منه عشرة آلاف جُسيم، ويكون بارداً نسبياً، إذ تبلغ درجة حرارته مئة كلِفن أو درجة مطلقة. ويشكل هذا القسم سحباً هائلة الحجم، مبعثرة ضمن القسم الثاني من جسم المجرة ذي الكثافة المنخفضة (جُسيم واحد في كل مئة سنتي متر مكعب)، والحرارة المرتفعة (من عشرات الآلاف إلى مليون كلِفن). ويتألف الوسط بين النجوم بصورة أساسية من الهدرجين الغازي العادي ومن الهدرجين الغازي المتأين الذي يغزر، كما كنا ذكرنا، في الأذرع ذات الفاعلية العالية في تشكيل النجوم. كما أنَّ الوسط بين النجوم يتألف (بالإضافة إلى الهدرجين والهليوم) من عدد كبير من المركبات الكيميائية المستقرة وغير المستقرة، ويبلغ عددها قرابة 56 مركباً، تتراوح بنيتها من البسيط (مثل كربون الهدرجين CH) إلى مفرط التعقيد (مثل HC_9N و $HC_{11}N$، يرجع إلى الجدول 3.1). كما يحوي الوسط بين النجوم جُسيمات صلبة ذات حجم ضئيل جداً (من رتبة المكرون أو جزء من عشرة آلاف من السنتي متر)، ويطلق عليها اسم الغبار بين النجوم. كما تجدر الإشارة إلى أن هذا التركيب الكيميائي غير المتجانس ينعكس أيضاً على توزع بعض العناصر ضمن أقسام المجرة نفسها، مما يؤثر في كثافة كل منها. فالهالة تفتقر كثيراً إلى عناصر أثقل من الهدرجين والهليوم إذا ما قورنت هذه الهالة ببقية أقسام المجرة. كما أنَّ تركيز بعض العناصر (كالأكسجين والآزوت) يتزايد تزايداً ملحوظاً من المناطق الخارجية للمجرة باتجاه مركزها.



الشكل 3 . 16ـ جـ . صورة نموذجية لمنطقة من مجرة درب التبانة قريبة من كوكبتي (برجي) الأفعى (الثعبان) والعُقاب . تظهر في الصورة أعداد كبيرة من النجوم ، وكذلك في الزوايا الأربع من الصورة . وتمثل المنطقة العاتمة التي تشكل خلفية الصورة ، وبخاصة القسمين العلوي والسفلي ، الركام الكوني (الغبار السديمي بين النجوم) الذي يحجب عدداً كبيراً من النجوم . أما الشريطان النيِّران هائلا الأبعاد وغير المنتظمين (ويمتدان من يمين إلى يسار الصورة) والمسؤولان عن اللون الأبيض شديد التوهج (ومن هنا أتى تعبير الطريق الحليبية) ، فيتألفان من الهدرجين المتأين (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص . 309) .





الشكل 3 .17. مخطط مجسم لمجرة درب التبانة التي تتألف من ثلاثة أقسام : القسم الأول منها هو اللب أو البصلة المركزية شبه الكروية ، ويبلغ نصف قطر اللب قرابة ألف فرسخ نجمي . ويعرف وسط اللب بالنواة ، التي تحوي سحابتي « القوس» A ، B . ويعتقد أن الجسم ذا الكثافة المفرطة الذي يوجد في مركز النواة هو ثقب أسود ، يميز نوى المجرات الحلزونية كافة . وتوجد في اللب نجوم معمرة جداً وصغيرة الحجم. أمَّا القسم الثاني ، فهو القرص الذي هو أكثر تسطحاً واتساعاً ، ويبلغ نصف قطره قرابة 000 15 فرسخ نجمي (وتقع الشمس وسطياً على بعد عشرة فراسخ نجمية من المركز) ، في حين أن ثخنه لا يتجاوز بضع مئات الفراسخ النجمية . ويتميز القرص بعدم تجانس بنيته من حيث الكمية الكبيرة من الهدرجين المتأين وعدد النجوم والأذرع الأربعة التي تدور حول المحور العمودي للقرص . وتحتاج الشمس إلى مئتي مليون عام لتقوم بدورة واحدة حول المجرة التي هي نفسها تدور دوراناً سائباً (غير متماسك) . وتؤلف الهالة التي تقع خارج الأذرع القسم الثالث من المجرة ، وتوجد فيها بشكل عام (وكما هي الحال في اللب) النجوم المعمرة ، كما يوجد فيها الركام السديمي الكروي . وتمثل حوافي الأذرع مناطق ولادة النجوم ، حيث يلد كل عام ما بين نجمين وثلاثة نجوم (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 306) .

ومع أنَّ درب التبانة يبدو ساكناً، فإنَّه يتحرك (بما في ذلك أذرع المجرة)، وككل الأجرام الكونية، حركة تدويمية، أي إنَّه يدور حول مركزه، كما تدور نجومه وكواكبه. بيد أنَّ المجرة ككل لا تدور حول مركزها كجسم صلب (كنجم مثلاً)، هذا إذا استثنينا محيط القسم المركزي من لب المجرة (الذي يبلغ قطره بدءاً من اللب قرابة ألفي فرسخ نجمي، أو نحو 7×10^{16}كيلو متر) الذي يتمتع بخاصة الدوران كجسم صلب. أمَّا بقية المجرة، فإنَّها تدور بحركة «سائلة». وفي حين أنَّ الشمس (التي تتوضع في أحد أذرع المجرة) تدور حول مركز المجرة مرة كل 200 مليون سنة، فإنَّ النجوم الأقرب إلى المركز تحتاج لتدور حول مركز المجرة مدة أقل. وأخيراً لا بد من الإشارة إلى أنَّ قرص مجرة درب التبانة غير متناظر الأقطار، بل يبدي مركزه انحرافاً نحو اليسار. وربما يكون هذا الانحراف قد نجم عن تأثر درب التبانة مع المجرات المجاورة (كمجرة المرأة المسلسلة) ومع السحب المجاورة له، كسحابتي «ماجلان»، أو يكون الانحراف قد نجم عن تأثر مجرة درب التبانة والوسط بين المجرات، أو نتيجة هذه التأثرات كلها.

3 .4 .2. المنظومة الشمسية

كما كنا عرضنا في الفقرة السابقة، فإنَّ المنظومة الشمسية تقع في أحد أذرع مجرتنا (مجرة درب التبانة)، وتستغرق دورتها حول قرص المجرة مئتي مليون عام. ومع أنَّ مجرتنا تحوي قرابة مئتي مليار نجم، يشبه نصفها تقريباً (من حيث الكتلة وآلية التفاعلات النووية الحرارية ـ وبخـــاصة تحويـــل الهدرجين إلى هليوم ـ والسطوع. . .) يشبه نصفها إذاً

شمسنا، فإنَّ أهمية هذه الأخيرة ترجع بداهة إلى وجودنا على كوكب الأرض (المبدأ البشري، يرجع إلى المقدمة) التي تدور كتابع حول الشمس. وقد تكون هنالك في مجرتنا أو في المجرات الأخرى شموس تدور في فلكها كواكب تشبه الأرض، توجد عليها حياة ذكية مماثلة للحياة في كوكبنا، ولكن يبقى هذا في نطاق الافتراض الظني. وقد تتمكن علوم المستقبل من التوصل إلى براهين تثبت أو تنفي هذا الافتراض.

ونظراً لكثرة المعارف المتوفرة عن المنظومة الشمسية[14] فإننا سنقتصر في معالجتنا لهذه الفقرة على بعض الأمور التي تقع ضمن السياق العام لهذا الكتاب. وكما هو معلوم، فإنَّ الكواكب التي أسرتها الشمس في فلكها، تُعَدُّ من كواكب الجيل الثالث، وتشكلت إما من تصادم المجرات والنجوم بعضها ببعض، أو من حطام ما قذفت به النجوم القريبة قبيل احتضارها، وبخاصة المستعرات الفائقة. ويرى معظم الفلكيين أنَّ الشمس أكثر قدماً من هذه الكواكب ولو بزمن قصير، وربما ترجع إلى الجيل الثاني الذي ولد بعد حدوث الانفجار الأعظم بما يقرب من سبعة مليارات عام. وكما هو معلوم أيضاً، فإنَّ المنظومة الشمسية تتألف من الكواكب الرئيسة التسعة المعروفة (التي تتزايد بعداً عن الشمس وفقاً للترتيب التالي: «عُطارد» Mercury، Mercure، و«الزُهرة» Venus ، و«الأرض» Earth، Terre، و«المَرِّيخ» Mars، و«المُشتري» Jupiter، و«زُحَل» Saturn، Saturne، و«أرانوس» Uranus، و «نبتون» Nepton، و«بلوتو» Pluto). وبالنظر إلى أنَّ المذنبات comets، comètes تدور أيضاً حول الشمس، فإنَّنا سنعرض لها بإيجاز. ولقد ورد في «لسان العرب» أنَّ عُطارد، والزُهرة، والمرِّيخ، والمشتري، وزُحل هي الدراري الخمس، أو الكواكب الخُنَّس، أي التي تستخفي في النهار. وفي حين أنَّ أجواء عُطارد، والزُهرة، والمرِيخ، والمشتري، وزُحل، وأورانوس، ونبتون، وبلوتو هي أجواء مُرجِعة (كالنجوم كافة) لغناها بالهدرجين، فإن الأرض تنفرد حالياً عن بقية الكواكب بجوها المؤكسد الغني بالأكسجين.

1.2.4.3. الشمس

غني عن البيان أنَّ الشمس تحتل موقعاً متميزاً جداً في ما يتعلق بالإنسان لا يرقى إليه أي كوكب، أو نجم آخر. فظهور الحياة على كوكب الأرض إنما يرجع إلى ضوئها وحرارتها، وكذلك تعاقب الليل والنهار، وتتالي الفصول، وكل ما يتأتى من دوران الأرض حول الشمس، ودوران الشمس حول نفسها، وحول مركز مجرة درب التبانة. فلا عجب أن ينظر الإنسان إلى هذا الكوكب نظرة خاصة، ويذهب احترام بعض الأقوام (وبخاصة شعب الإنكا Inca في أمريكة الجنوبية) للشمس إلى درجة التقديس والعبادة، فيشيِّدون لها معابد الشمس الشهيرة، ويبنون على أساس ذلك حضارتهم العريقة.

تبعد الشمس عن الأرض ثماني دقائق ضوئية تقريباً، أو 149.6 مليون كيلو متر. فأشعة الشمس تحتاج وسطياً مدة 480 ثانية كي تصل الأرض، وتقطع في الثانية الواحدة 300 ألف كيلو متر (سرعة الضوء). وتعد هذه المسافة مسافة فضلى (وفقاً للمبدأ البشري) لنشوء الحياة على الأرض. فلو كانت الشمس (كما سنرى في القسم الثالث من هذا الكتاب) أبعد قليلاً عن الأرض، لتجمد الماء الأساسي لنشوء الحياة (كما هي الحال في الماء الغزير المتجمد في كوكبي المُشتري وزُحل، وتجدر الإشارة إلى أنَّ الماء غزير في كواكب المنظومة الشمسية كلها). ولو كانت الشمس أقرب قليلاً إلى الأرض، لتحول الماء إلى بخار (كما هي الحال في الجو المحيط بكوكبي عُطارد والزُهرة)، ولما كان بإمكان الحياة أن تظهر على الأرض. وبالمقابل، يمكن القول بداهة أنَّه لو كان كوكب الأرض أقرب إلى الشمس أو أبعد عنها بعدد من الثواني الضوئية، فإنَّه لم يكن بوسع الحياة (بخصائصها المعروفة) أن تكون موجودة على الأرض. إن الشمس والأرض تبعدان

عن بعضهما المسافة الفضلى والضرورية للإبقاء على الماء في طوره السائل. ويمكن القول أيضاً إنَّ هذه المسافة الفضلى على درجة من القصر بحيث تتيح لنوعي الأشعة الصادرة عن الشمس وهما: الأشعة فوق البنفسجية (التي لها طول موجة قصير نسبياً - يرجع إلى الجدول 1 . 1- يستثير الجزيئات ويدفعها للدخول في التفاعلات البيولوجية)، والأشعة تحت الحمراء (التي لها طول موجة طويل نسبياً وذات فعل حراري، يُسخِّن الماء)، إن هذه المسافة الفضلى تتيح إذاً لنوعي الأشعة التحريض على حدوث التفاعلات الكيميائية، والبيولوجية منها على وجه التخصيص. كما أنَّ هذه المسافة على درجة من الكبر بحيث تحول دون تخرب المادة العضوية أو البيولوجية التي يتم تركيبها. **إنَّ هذا التوازن من حيث المسافة التي تفصل هذين الكوكبين الواحد عن الآخر هو المسؤول عن متابعة التطور لمسيرته من الأبسط إلى الأعقد ومن الأقل كفاية وأداء إلى الأكثر فاعلية وإنتاجية. فإذا كانت هذه المسافة «مثلى» لنشوء الحياة، فلأن الجزيئات الأولى التي بدأت بها الحياة كانت الأكثر أداء في هذه الدرجة من الحرارة من حيث النمو والتكاثر والاستقلاب (الإفادة من مواد الوسط كي يحدث النمو)، وقابلية التلاؤم بإحداث تغيرات في البنية (إنَّ هذه السمات الأربع النمو والتكاثر والاستقلاب وإمكان التلاؤم بحدوث الطفرات تمثل الخصائص الأساسية للحياة، ولحدوث التطور العضوي والبيولوجي الموجه).**

وكما كنا أشرنا، فإنَّ الشمس توجد في وسط أحد الأذرع الحلزونية لمجرة درب التبانة الذي يبعد عن مركز المجرة قرابة 25 ألف سنة ضوئية (أي 2.5×10^{17} كيلومتر، أو ثمانية آلاف فرسخ نجمي، علماً بأنَّ قطر المجرة نفسها يبلغ قرابة مئة ألف سنة ضوئية أو 9.46×10^{17} كيلومتر، أو ثلاثين ألف فرسخ نجمي). وكما كنا عرضنا، وبالإضافة إلى دورانها حول نفسها -تدويمها- التي تستغرق دورته 25 يوماً في خط استواء الأرض و35 يوماً قرب القطبين، فإنَّ الشمس والذراع الحلزوني للمجرة (الذي يؤوي الشمس) يدوران حول مركز درب التبانة مرة واحدة كل 200 مليون عام. ومع أنَّ قطر الشمس يقارب 1.4×10^{6} كيلومتر، وتبلغ كتلتها ملياري مليار مليار طن أو 2×10^{30} كيلو غرام، فهي ضئيلة الحجم إذا ما قورنت بمئات مليارات الشموس الأخرى التي تفوقها كتلة وسطوعاً، ويمكن لمعظم هذه الشموس أن تفوق خمس مئة مرة كتلة الشمس وسطوعها.

وكما كنا عرضنا في ما سبق، فإنَّ أشعة الشمس وحرارتها وسطوعها تتأتى من التفاعل النووي الحراري الاندماجي لنواتي هدرجين الدوتريوم (الهدرجين الثقيل)، لتشكلا نواة هليوم (يُرجع إلى الحاشية 1 . 8 انظر أيضاً الحاشية 4 . 1). وتحول الشمس (كقنبلة هدرجينية عملاقة) في الثانية الواحدة مليار طن من الهدرجين إلى هليوم. ويرجع الفضل في إيجاد سلسلة التفاعلات النووية الحرارية التي تحدث في جوف الشمس (وتؤدي إلى انتشار الضوء والحرارة اللذين ننعم بهما) إلى «هانس ألبرخت بيته» الذي أوضح كيف يتحول (في الثانية الواحدة) 600 مليون طن من الهدرجين إلى هليوم، و 400 مليون طن من الهدرجين إلى طاقة (يُرجع إلى الفقرة 1 . 2 والحاشية 1. انظر أيضاً، من أجل التفاصيل، الحاشية 4 . 1). فإذا كان عمر الشمس أربعة مليارات عام ونصف المليار، فإنَّ هذا يعني أنها أحرقت منذ ولادتها حتى الآن قرابة 142 مليار مليار طن من الهدرجين تحول إلى هليوم، ويعتقد أنها ما تزال تحتوي على كمية من الهدرجين تزيد قليلاً (أي قرابة 158 مليار مليار طن) عما أحرقته حتى الآن لتستمر مدة خمسة مليارات سنة أخرى، حيث تنطفئ (فتزول معها الحياة عن كوكب الأرض)، وتتحول إلى قزم أبيض، كجثة هامدة باردة (يُرجع إلى الفقرة 3 . 3 . 3)، ضئيلة الحجم إنما ذات كتلة هائلة (أي يهبط قطرها من 1 . 5 مليون كيلو متر إلى 743 12 كيلو متراً، أو مئة وعشر مرات تقريباً، فيصبح حجمها بحجم الكرة الأرضية).

وبطبيعة الحال، فإنَّ هذا الوقود النووي الحراري الناتج عن تحويل هدرجين الدوتريوم إلى نواة هليوم (أو جسيم ألفا)، ينشر كطاقة (بالإضافة إلى تفاعلات نووية حرارية أخرى) فرق الكتلة بين نواتي دوتريوم (بروتونان ونترونان) ونواة الهليوم أو جسيم ألفا (بروتونان ونترونان أيضاً إنما هما مندمجان بنواة واحدة، يرجع إلى الحاشية 1 . 8) على شكل حرارة وفوتونات (لهيب الشمس وسطوعها). وتبلغ درجة حرارة جوف الشمس ما بين 10 و 15 مليون كلفن أو درجة مطلقة، في حين أنَّ درجة حرارة سطحها من رتبة ستة آلاف كلفن فقط. كما أن كثافة مادتها تتناقص من المركز باتجاه المحيط. وفي حين أنَّ كثافة مادة جوف الشمس تصل إلى 160 غرام للسنتي متر المكعب الواحد (إنَّ حجم عشرين قطرة عادية من الماء يساوي سنتي متراً مكعباً واحداً، ووزنها غرام واحد)، فإنَّ كثافة مادة السطح تبلغ جزءاً من مليون من الغرام فقط (أو مكروغراماً واحداً)، ذلك أنَّ مركز الشمس يحوي (بالإضافة إلى الهدرجين والهليوم) عناصر أثقل، تشكلت نتيجة الاندماجات النووية لنواة الهليوم (جُسيم ألفا) بالدوتريوم من جهة، وبنوى هليوم أخرى من جهة ثانية. فنعثر في باطن الشمس (كما هي الحال في أي نجم ملتهب) على البيريليوم، والكربون، والأكسجين، حتى نصل إلى الحديد الذي ينهي (بثبات نواته الشديد) سلسلة الاندماجات النووية. أمَّا الطبقات السطحية للشمس فتحوي بصورة أساسية الهدرجين والهليوم، وهذا هو السبب في انخفاض كثافة مادة السطح.

أمَّا في ما يتعلق ببنية الشمس، فلقد وجد بأنَّها تتألف من الطبقات الثلاث التالية التي يتطبق بعضها فوق بعض كما في طبقات البصل:

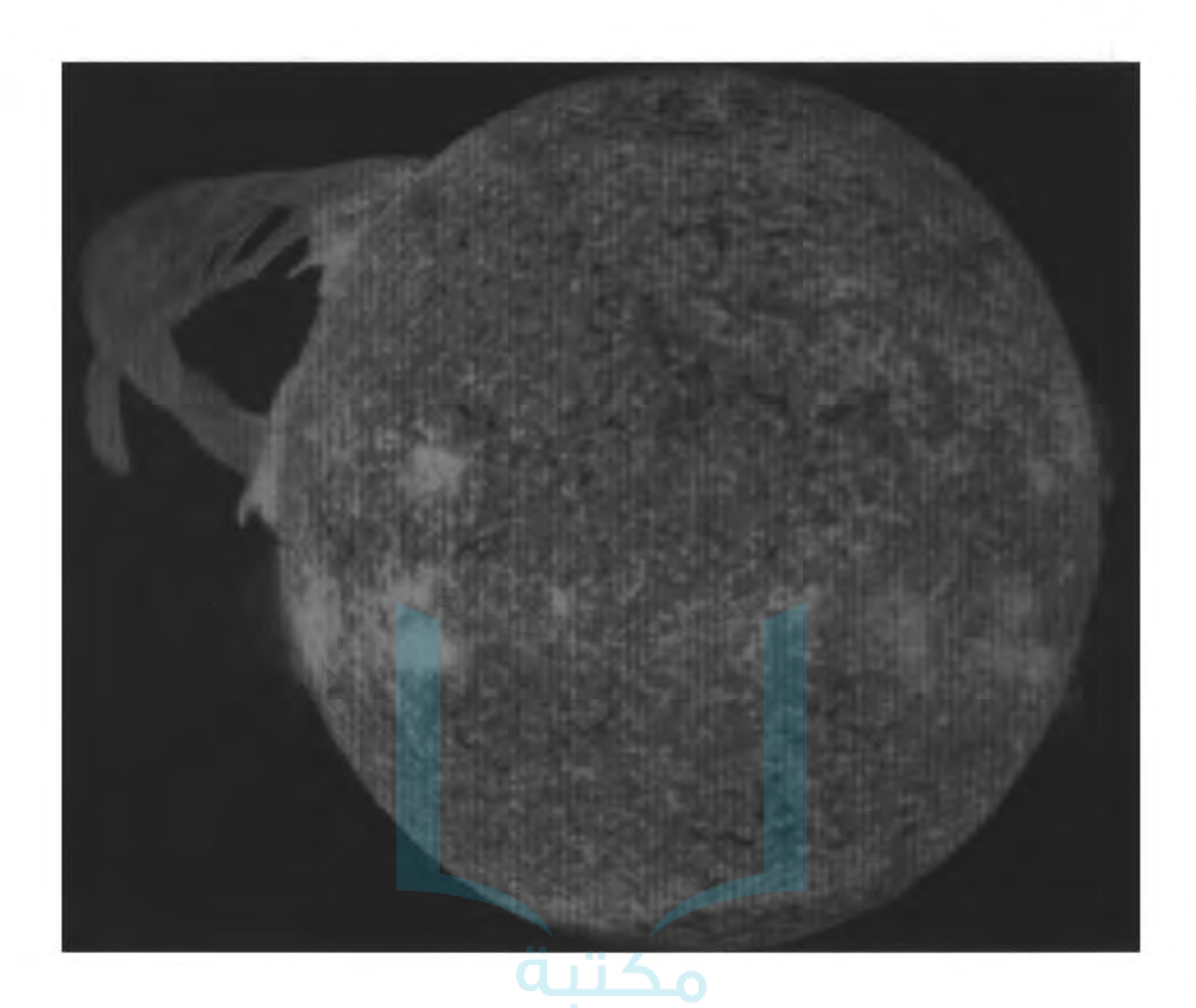
ـ **الفوتوسفير** photosphere، photosphère (من اللاتينية، phôtos ضوء، و sphaira كرة)، وهو عبارة عن طبقة تشكل سطح الكرة الشمسية، رقيقة نسبياً، إذ يبلغ ثخنها قرابة مئة كيلو متر، وتصدر الضوء الأبيض الذي يصل الأرض، وتقع معظم أطوال موجاته في القسم الذي أصبح يعرف طيفه بالضوء المرئي، وذلك بعد أن تكيفت الخلايا العصبية لعيون الكائنات الحية (شبكية عين الإنسان) كي تتحسس به. وبطبيعة الحال، فإنَّ الشمس تصدر أنواع الأشعة كافة، بدءاً من أشعة غاما حتى الأمواج الراديوية (يرجع إلى الجدول 1 . 1)، علماً بأن ما يصل الأرض من أشعة غاما ضئيل نسبياً. ويعتبر الفوتوسفير ذو اللون الأبيض الطبقة الوحيدة التي يمكن رصدها.

ـ **الكروموسفير** chromosphere، chromosphère (من اللاتينية khrôma، لون)، ويقع تحت الفوتوسفير، ويبلغ ثخنه ألفي كيلومتر، ويغلف هالة من كرة بيضاء تشكل بقية كرة الشمس، وتعرف بالإكليل.

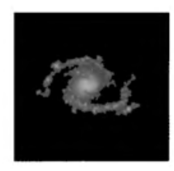
ـ **الإكليل** corona، couronne، ويمثل القسم الداخلي من كرة الشمس والذي يمكن أن يرى في حالة الكسوف الكلي من نقطة تبعد ثلاثة ملايين كيلومتر. وبسبب من الرياح الشمسية، فإنَّ هذه الهالة الإكليلية تمتد بألسنتها وعراها في الفضاء بين الكواكب، متجاوزة الكرة الأرضية كلياً.

ويتصف جو الشمس بعدم تجانس واضح. وتزودنا أنواع السواتل والمقاريب والمسابير والمختبرات الفضائية بمعلومات وافية عن الاضطرابات التي تحدث في جو الشمس، وتتبدى في معظم الأحيان على شكل عواصف تعرف عموماً بالرياح الشمسية التي تكون عادة عنيفة جداً، تقذف ألسنة وعرى من لهب تفوق أطوالها أضعاف أضعاف قطر الأرض، وتمتد بعيداً بين الكواكب التي تشكل المنظومة الشمسية (الأشكال 3 . 18 و 3 . 19 و 3 . 20). ومنذ مئة عام تقريباً (1896) تنبأ الفلكي النرويجي «أولاف كريستيان بيركيلاند» Olaf Kristian Birkeland بوجود هذه العواصف

الشمسية التي تصل تأثيراتها الأرض. ولقد أمكن، بدءاً من ثلاثينات القرن الماضي، التأكد من حدوث هذه الرياح التي تحدث اضطرابات واضحة في الحقل المغنطيسي للأرض، تتسبب أحياناً بانقطاعات مفاجئة للاتصالات الراديوية والهاتفية (الشكل 3. 21). وتقذف الشمس أحياناً بسحب من الجُسيمات المشحونة، تتراوح سرعتها ما بين ألف وألفي كيلومتر في الثانية الواحدة.



الشكل 3. 18. صورة لحدبة شمسية عملاقة (عروة) بالأشعة فوق البنفسجية تشكلت في 19 كانون الأول (ديسمبر) عام 1973 أمام أعين ملاحي المركبة الفضائية « سكاي لاب » Skylab ، الذين لاحظوا هجرة هذا الثوران سنامي الشكل والمقذوف مبتعداً عن سطح الشمس، ويرجع التوهج إلى وجود الهليوم المتأين (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 39) .



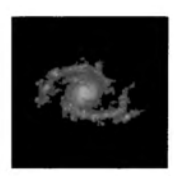
الشكل 3 .19. صورة لثوران بركاني عملاق بالأشعة فوق البنفسجية التقطها أحد ملاحي المركبة الفضائية «سكاي لاب». وكما هي الحال في الشـكل السـابق ، فإن التوهج يرجع إلى الهليوم المتـأين . ومع أن الثوران كان في بدايته ، فلقد بلغ بُعْدُ ذروة العروة عن سـطح الشـمس 000 600 كيلومتر . ونذكر ، على سبيل المقارنة ، أن كتلة الأرض أصغر من البقعة العاتمة التي تقع مباشرة تحت ذروة قوس العروة . إن أقواس العروة النيرة لم تتشكل نتيجة قذف مادة الشمس بل بسـبب انزيـاح اللـهب ، كـمـا أن العروة لن تهـجر سـطح الشـمس (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 23) .



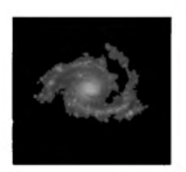


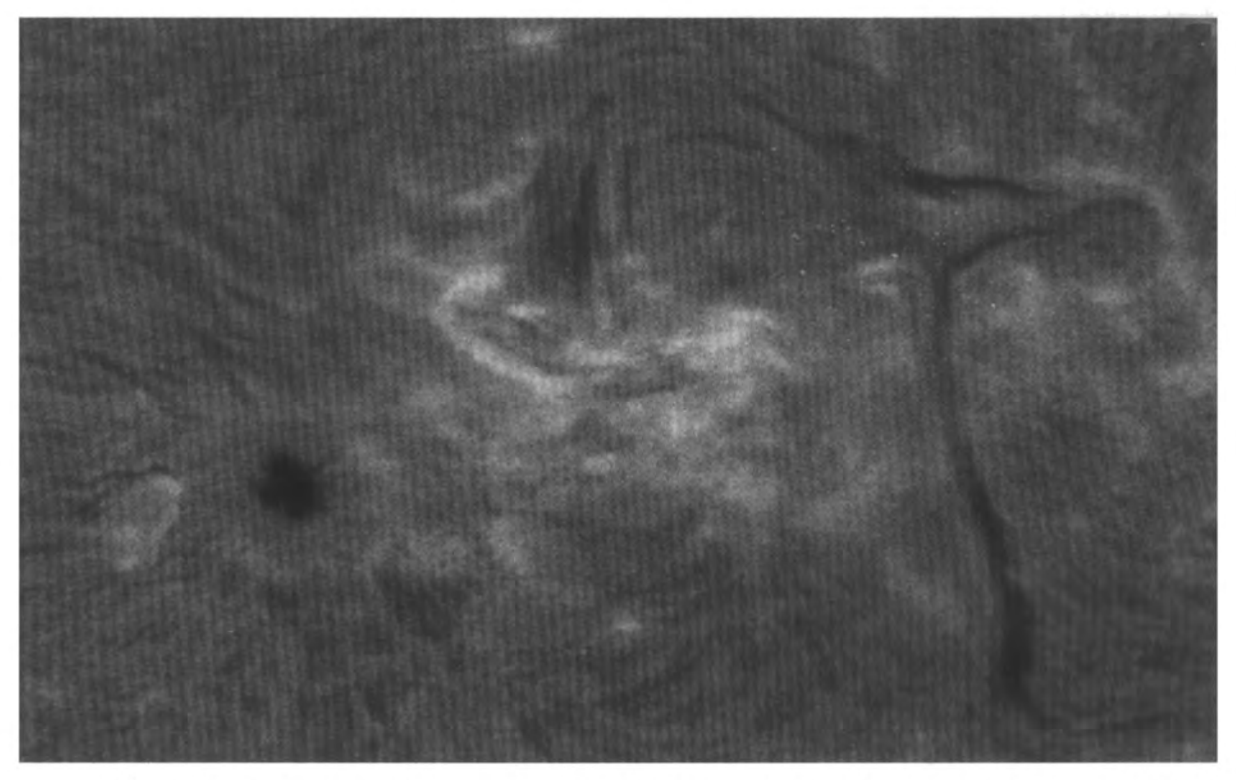
الشكل 3 . 20 . صورة بالألوان الطبيعية لثوران في الإكليل لوحظ في 14 نيسان (أبريل) عام 1980 . لقد قذفت المادة المنصهرة (البلازما ، حيث تفقد المـــادة طبيعتها) بسرعة قدرها مئة ألف كيلومتر في الثانية . وســبق حدوث هذا الثــوران العمـــلاق نشــوء موجة صدمية طاقية كبيرة (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص . 43) .

وتجدر الإشارة أخيراً إلى ما يعرف بالفاعلية الشمسية أو النشاط الشمسي . فكما كنا عرضنا منذ قليل ، فإن طبقات الشمس تمتاز بعدم تجانسها . ويمكن إيضاح هذه الفاعلية وتغايرية البنية بحدوث ثلاث ظواهر تم اكتشافها تدريجياً . وتتمثل الظاهرة الأولى بتشكل البقع الشمسية التي اكتشفها الفلكيون الصينيون منذ القدم، وتعرَّفها عام 1611 كل من «دافيد فابريشيوس» David Fabricius، وغاليليو غاليلي . وتعد البقع الشمسية (الشكلان 3 . 22 و 3 . 23) مناطق معتمة و باردة نسبياً (تصل درجة حرارتها إلى 700 1 كلِفن أو درجة مطلقة)، وذات فاعلية ضعيفة . وتمتاز البقع الشمسية التي يمكن أن تنشأ في الطبقات الشمسية الثلاث (الفوتوسفير والكروموسفير والإكليل) بحقل مغنطيسي مرتفع جداً، تتراوح شدته على سطح الشمس ما بين 500 2 و 000 3 غوس gauss، أي أقوى ستة آلاف مرة من الحقل المغنطيسي للأرض . وفي أثناء دوران الشمس حول نفسها، تتحرك الإلكترونات والبروتونات المشكلة لمادة الشمس، فتخلق تياراً كهربائياً هائل الشدة، يحرض على نشوء حقل مغنطيسي مفرط القوة .

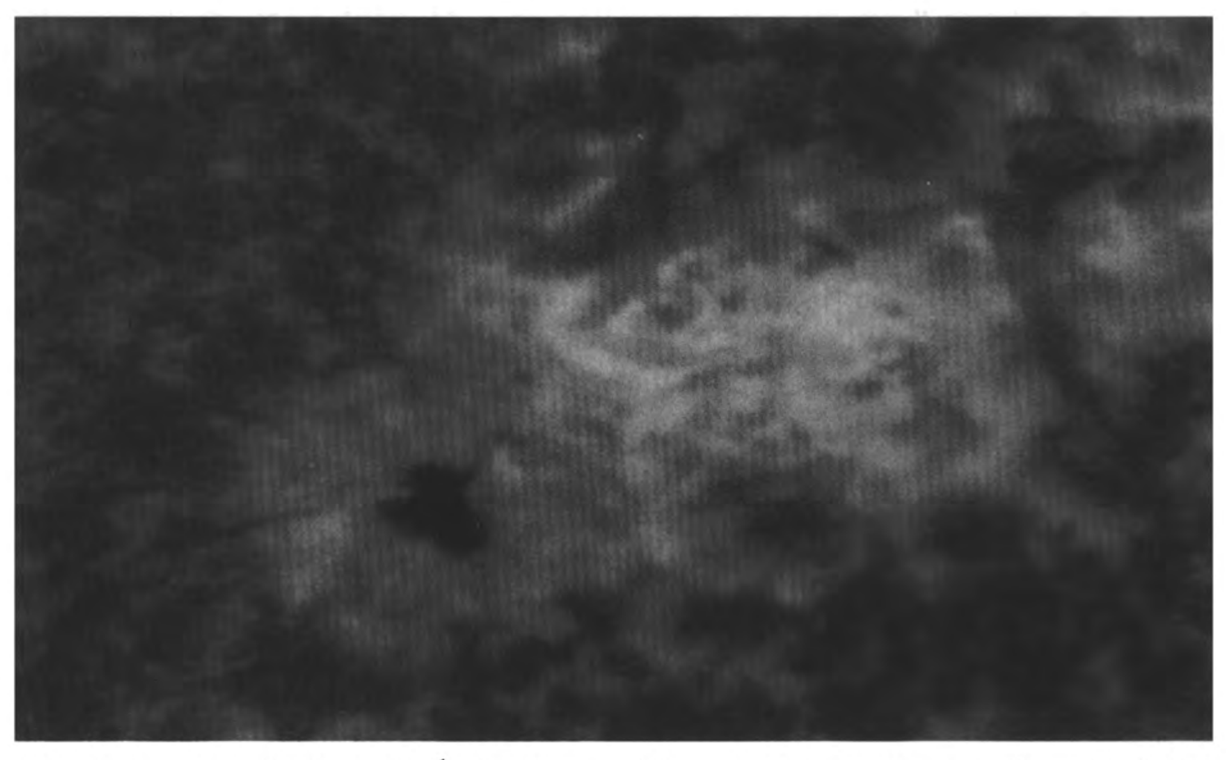


الشـــكل 3 . 21. صورة بالألوان الطبيعية للإكليل ، أخذت بعصابة الامتـصاص ألفا للهدرجين . ولقد لوحـــظ في الإكليل (من قبـــل ملاحي المركبة الفضائية « سكاي لاب ») ، وفي خلال ستة أيام ، تشكل ثقب في الإكليل ، ودوران هذا الثقب الذي يُعَدُّ بنية شبه دائمة . وقد يصل الثقب (الذي يتشكل دائماً في القطب) استواء الشمس ، ويحتل مساحة كبيرة من كتلة الإكليل . ولقد أُخذت هذه الصور الأربع في 19 و 21 و 23 و 25 آب (أغسطس) عام 1973 . ولقد امتد هذا الثقب من القطب الشمالي إلى ما بعد الاستواء ليأخذ شكل « جزمة » تشبه خريطة إيطاليا . والغريب في الأمـــر أن هذا الثقب يدور وكـــأن الشـــمس كتلة صلـبة ، ولا يعـاني تدويراً تفاضليـــاً (مقارناً بدوران الشـــمس نفسها) (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 34) .





الشكل 3 . 22. صورة بالألوان الطبيعية تلاحظ فيها البقعة الشمسية (اللطخة العاتمة) وليفاتها ، التي قد تكون إما دائمة العتامة أو متألقة أحياناً . كما تلاحظ الصَّيْخدات facula أيضاً(مفردها صَّيخد facula ، البقعة اللامعة على سطح الشمس) (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 37) .



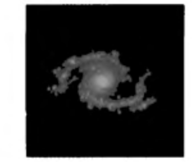
الشكل 3 . 23. صورة أخذت بعصابة الامتصاص K للكلسيوم المتأين ، حيث تلاحظ الصَّيخدات على نحو أوضح مما هي عليه في الشكل السابق (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 37) .

أمَّا الظاهرة الثانية، فتتمثل بالأحداث الشمسية الدورية التي اكتشفها عام 1843 الفلكي «صموئيل هنريش شواب» Samuel Henrich Schwabe، وتظهر على شكل تغيرات دورية تصيب بنية الشمس، وتتبدى بنشوء مراكز ذات فاعلية مفرطة (من حيث التفاعلات النووية الحرارية، ومن حيث الطاقة الحركية الهائلة للإلكترونات والبروتونات والنترونات، يرجع إلى الشكلين 3.22 و 3.23)، وبظهورعرى ملتهبة على سطح الشمس (يُرجع إلى الأشكال 3.18 و 3.19 و 3.20)، تمتد ألسنتها بين كواكب المنظومة الشمسية، ويطال تأثيرها (كما كنا عرضنا) الأرض. ويمكن لآجال هذه المراكز ولهذه العرى، التي تأخذ كل الأبعاد والقيم من حيث الحجم ودرجة الحرارة، أن تتراوح بين ثوان وسنين.

أمَّا الظاهرة الثالثة التي توضح فاعلية الشمس، فتتمثل بالثورانات (الهياجانات) eruptions، éruptions الشمسية التي اكتشفها عام 1859 كل من «ريتشارد كريستوفر كارينغتون» Richard Christopher Carrington و«ريتشارد هوجسون» Richard Hodgson. ويمكن لهذه الثورانات أن تهز بعنف شديد جو الشمس بكامله، فتستشعر حدوثها أدوات الرصد الأرضية. ويتميز الثوران (الذي يمكن أن يمتد على مساحة قدرها خمسة مليارات كيلومتر مربع من سطح الشمس) بسطوعه الشديد (الذي يتناول فجأة المساحة كلها)، وبعنفه الهائل: فخلال دقيقة واحدة تزداد شدة الأشعة مقدار عشرة أضعاف، ويأخذ الثوران شكل سطوع حاد وسريع. ولا بد، بعد هذا السطوع الفائق، من انقضاء عشرات الدقائق (وأحياناً ساعات) كي يعود الإصدار الضوئي إلى مستواه النظامي. وما إن يهدأ جو الشمس حتى يمسك به ثورانٌ تالٍ، ويمر تقريباً بالمراحل نفسها التي مر بها الثوران الأول، ثم ثوران ثالث ورابع وهكذا، بحيث تعطي هذه الثورانات الانطباع بأنها تحدث على نحو متجانس ومتسلسل، لتُدخِل في نطاق الظواهر الدورية الشمسية نظامية التسلسل، ويمكن وضعها جنباً إلى جنب مع الدورات الشمسية التي ألمحنا إليها منذ قليل دونما فرق كبير في تغاير هاتين الظاهرتين. ذلك أنَّ الثورانات الشمسية تسبب تشكل أقواس وعرى وعقد من المواد الملتهبة (يُرجع إلى الأشكال 3.18 و 3.19 و 3.20)، سيرورات تدخل في نطاق الأحداث الدورية الشمسية التي اعتبرت مظهراً من مظاهر الفاعلية الشمسية، أو النشاط الشمسي. ويتم في أثناء الثوران الشمسي تحول مادة الشمس إلى سحب ذات حرارة مفرطة، تصل إلى مليار كلِفن أو درجة مطلقة (بينما تتراوح حرارة جوف الشمس ما بين 10 و 15 مليون درجة)، ويمكن للإلكترونات أن تحقق في هذه الثورانات سرعة تقارب ثلث سرعة الضوء (أي 100 000 كيلومتر في الثانية).

3.4.2.2. كواكب المنظومة الشمسية

تدور حول الشمس تسعة كواكب هي (وفقاً لقربها من الشمس): عُطارد، والزُهرة، والأرض، والمَرِّيخ، والمُشتري، وزُحَل، وأورانوس، ونبتون، وبلوتو (وقد يحذف هذا الأخير، كما سنرى، من هذه القائمة). هذا ويوضح الشكل 3.24 الحجم النسبي لثمانية كواكب بألوانها الطبيعية تقريباً. كما ونورد في الجدول 3.2 مقارنات بين بعض خصائص هذه الكواكب الذاتية أو المنسوبة إلى الأرض. وكما سبق أن عرضنا، فإنَّ الأرض تنفرد بجوها المؤكسد (الغني بالأكسجين) عن بقية كواكب المنظومة الشمسية والنجوم كافة ذات الجو المرجع (الغني بالهدرجين).



الشكل 24.3 (الشرح في الصفحة التالية)

الشكل 3 .24. صورة حقيقية مُركَّبة للكواكب التسعة بحجومها النسبية (ما عدا زُحل الذي تحتاج صورته مع حلقته وبالمقياس نفسه إلى مساحة مضاعفة) ، تم تصغيرها وفقاً لمقياس واحد بحيث تعكس تماماً الحجوم الحقيقية للكواكب التسعة . كما أن الألوان حقيقية إلى حد ما ، ولكن ليس البياض albedo ، albédo (أو اللمعان ، أو نسبة ما يعكسه سطح جسم ما ـ بما في ذلك طبقة الثلج ـ من الضوء أو الأمواج الكهرطيسية إلى ما يتلقاه الجسم من أشعة الشمس) . لقد تم تصوير هذه الكواكب بوساطة مركبات فضائية ومقاريب مختلفة . أمَّا إذا أردنا تمثيل الصورة النســبية للشــمس (أي بالمقياس نفسه الذي تظهر فيه صور هذه الكواكــب) ، فإن قطـر هذه الصورة سـيبلـغ ثلاثــة أمتار (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص. 51) .

الجدول 3 .2. الخصائص الفيزيائية الرئيسة لكواكب المنظومة الشــمسية ونسـبة هذه الخصـائص إلى ما يماثلها في كوكب الأرض (عن Bersani,et al.,1983) .

	الكواكب الداخلية (الأرضية)				الكواكب الخارجية				
	عُطارد	الزُهرة	الأرض	المَرِّيخ	المشتري	زُحَل	أورانوس	نبتون	بلوتو (الأرقام تقريبية)
الكتلة مقارنة بالأرض	0.0558	0.8150	1.000	0.1074	317.893	95.147	14.54	17.23	0.0017
الكتلة (كيلو غرام)	3.303×10^{23}	4.87×10^{24}	5.976×10^{24}	6.421×10^{23}	1.899×10^{27}	5.686×10^{26}	8.66×10^{25}	1.030×10^{26}	1.13×10^{22}
نصف قطر الاستواء مقارناً بالأرض	0.382	0.949	1.000	0.532	11.27	9.44	4.10	3.88	0.30 - 0.12
نصف قطر الاستواء (كيلومتر)	2.439	6 050	6 378	3 398	71 900	60 000	26 145	24 750	1 900 –1 200
التسطح	0.0	0.0	0.0034	0.0059	0.0637	0.102	0.024	0.0266	?
الكثافة الوسطية (غرام للسنتي متر المكعب)	5.42	5.25	5.52	3.94	1.314	0.69	1.19	1.66	1.7 – 0.6
الثقالة في الاستواء (متر بمربع مربع الثانية)	3.78	8.60	978	3.72	22.88	9.05	7.77	11.00	4.3
سرعة التحرر في الاستواء(كيلومتر في الثانية)	4.3	10.3	11.2	5.0	59.5	35.6	21.22	23.6	5.3
ميلان الاستواء على مستوى المدار (درجة)	0	2 –	23.45	23.98	3.08	29	97.92	28.80	؟
متوسط البعد عن الشمس (مليون كيلو متر)	57.9	108.2	149.6	227.9	778.3	1 427	2 869.6	4 496:6	5 900
مدة التدوير الكوكبي	58.65 يوماً	243.01 يوماً	23.9345 ساعة	24.6229 ساعة	9.841 ساعة	10.233 ساعة	15.5 ساعة	15.8 ساعة	6.3874 ساعة
مدة الدوران حول الشمس (يوم)	87.97	224.7	365.3	687	4 333	10 759	30 685	60 189	90 465

وتصنف هذه الكواكب وفقاً لكتلها وحجومها وتركيبها في مجموعتين : الداخلية أو الأرضية، والخارجية (البعيدة عن الشـمس)، وذلك كما يوضح الجدول 3 .2 ومع أنَّ كتلة المنظومة الشـمسية تتركز في كتلة الشـمس، التي تبلغ قرابـة 2×10^{30} كيلوغرام (أو ملياري مليار مليار طن)، وتمثل 99.867 في المئة من كتلة هذه المنظومة، فإنَّ أثقل الكواكب هو المشـتري الـذي تبـلـغ كتلته 318 مـرة تـقـريـباً كتلة الأرض، ويليه زُحـل (95 مـرة)، ثـم نبتون (17 مرة)، وأخيراً أُورانـوس(14 مرة). أمَّا من حيث التركيب، فإنَّ الكواكب الأرضية صخرية البنية عموماً، وتغزر فيها مركبات (أملاح) السيليكون (أي السيليكات)، والحديد، والمغنيزيوم. وفي حين أنَّ جواً غازياً يحيط بالزُهرة، والأرض، والمرّيخ، فإنَّ عُطارد والقمر (الذي يُلحق أحياناً ببقية كواكب المنظومة الشمسية) مجردان من هذا الجو الغازي. ولقد تحررت الغازات التي تشكل هذا الجو (ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، والآزوت) من هذه الكواكب الثلاثة في أثناء تشكلها، إذ كانت حبيسة المواد المؤلفة لها. ويختلف تركيب الكواكب الخارجية اختلافاً أساسياً عن تركيب الكواكب الداخلية، إذ تتألف بصورة رئيسة من غازات الهدرجين، والهليوم، والميتان، والأمونيوم. وفي حين أنَّ المُشتري وزُحل يتألفان أساساً من الهدرجين والهليوم بنسبة تقارب كثيراً ما هو موجود منهما في الشمس، فإنَّ أُورانوس ونبتون أغنى بجليد الماء وبالميتان وبالأمونيوم.

وكما كنا عرضنا غير مرة، فإنَّ الأجرام الكونية تدور حول نفسها، وإنَّ الأقل كتلة يدور حول الأثقل كتلة وفقاً لقوانين «كبلر» الثلاثة، وحركية «غاليلي»، وثقالة «نيوتن». فمجرتنا تدور حول نفسها، ويدور أحد الأذرع (الذي يؤوي المنظومة الشمسية) حول مركز المجرة (دورة واحدة كل مئتي مليون عام)، وتدور الشمس حول نفسها (وسطياً مرة واحدة كل 30 يوماً)، وكذلك كواكب المنظومة الشمسية، وسواتل هذه الكواكب، التي تدور حول نفسها وحول الشمس. هذا، ويبين الجدول 3 . 2 المدد التي تستغرقها كواكب المنظومة الشمسية في دورانها حول نفسها (مدة الدوران الكوكبي). وبناء على القانون الثالث لـ«كبلر»، فإنَّ مدة دوران الكوكب حول الشمس تتزايد مع تزايد بعده عن هذا الكوكب. فمدة دوران عُطارد حول الشمس (أو سنة عُطارد) تبلغ 88 يوماً، والزُهرة 224 يوماً، والأرض 365 يوماً . . . (يرجع إلى العمودين الأخيرين من الجدول 3 . 2 لملاحظة هذه العلاقة بين بعد الكوكب عن الشمس ومدة عامه ـ مدة دورته حول الشمس).

أمّا في ما يتعلق بولادة (أصل) هذه الكواكب، فإنها تقوم أساساً على الفرضية التي وضعها «كنت» Kent عام 1755 و«لابلاس» Laplace عام 1796، وما تزال مقبولة عموماً حتى الآن. وترى هذه الفرضية أنَّ الشمس وكواكبها تشكلت من سديم بدئي، نجم عن تشظي سحابة توجد بين النجوم. بيد أنَّ الدراسات التي نشرت في عام 1998 تشير إلى إمكان تشكل النجوم والكواكب نتيجة تصادم المجرات بعضها ببعض، ونتيجة تصادم الكواكب والنجوم الكبيرة بالمجرات أو بعضها ببعض، وذلك كما حدث في حال تشكل القمر (انظر الفقرة III . 1). وبالنظر إلى التدويم الذي يعانيه هذا السديم البدئي، فإنَّ فعل الثقالة لكتلته يتسبب بانهيار السديم على نفسه. ولكن مبدأ الاستبعاد لـ «باولي»، وعدم حدوث تنكس إلكتروني أو نتروني (يعاكسان مع القوة النابذة فعل الثقالة) سيؤديان إلى تشكل قرص (الشكل 3 . 25)، تتكثف مواده، وتتكدس، لتعطي الكواكب في المناطق المحيطية «الباردة» من القرص، في حين أن القسم المركزي يتابع تكثفه، فينفصل عن المحيط المجزأ ليعطي الشمس. وكما كنا عرضنا في ما سبق، فقد يكون للمستعرات الفائقة علاقة مباشرة بتشكل المنظومة الشمسية بتشكيلها السديم البدئي ولو جزئياً، أوعلاقة غير مباشرة، تتمثل بترافق انفجار المستعر الفائق مع تشكل السديم البدئي. وتدل دراسات الفاعلية الإشعاعية لنظائر مشعة لها عمر نصف[3.9] طويل الأجل (كالروتنيوم -87 والتوريوم -232، واليورانيوم -238) على أنَّه يمكن تقدير عمر الشمس وكواكبها بخطأ قدره مئة مليون عام. ولقد تبين (بناء على هذه الدراسات) أنَّ الشمس كانت قد تشكلت قبل 4 . 56 مليار عام، وأنَّ الكواكب الأخرى أخذت شكلها النهائي بعد ذلك بزمن قصير نسبياً، يقل عن مئة مليون عام (أي أنَّ كواكب المجموعة الشمسية تشكلت قبل 4 . 5 مليار عام).

(3 . 9) إنَّ عمر النصف demi-vie,halflife ($t_{1/2}$) هو الزمن اللازم لتلاشي نصف عدد ذرات (عمر النصف الفيزيائي)، أو نصف عدد جزيئات (عمر النصف البيولوجي) مادة ما. فإذا اعتبرنا الألمنيوم-26 (13 بروتوناً و 13 نتروناً)، فإن عمر النصف له 720 ألف عام. أي بعد انقضاء هذه المدة تتلاشى الفاعلية الإشعاعية (بانطلاق نترينو وبوزيترون على شكل أشعة غاما وجسيمات بيتا نتيجة تحول بروتون إلى نترون) لنصف الكتلة التي بدأنا بها. ومع أن الكتلة الذرية تبقى نفسها (12 بروتوناً و 14 نتروناً)، فإن نصف ذرات الألمنيوم-26 تتحول إلى عنصر آخر مستقر (غير مشع) هو المغنزيوم-26. وسنحتاج المدة نفسها (720 000 عام) كي تتلاشى ذرات نصف النصف المتبقي. أي بعد انقضاء 1.44×10^6 عام، يتبقى لدينا من الألمنيوم-26 ربع الكتلة التي بدأنا بها، ثم و 1/8 و 1/16 و 1/32 . . . من الكتلة الأصل، وفي كل مرة يجب أن تنقضي المدة نفسها (أي 720 ألف عام). ويمكننا (بدءاً من آثار ضئيلة لعنصر مشع لا يوجد في الأرض إلاَّ بشكل غير مشع) أن نقدر أعمار الكواكب على نحو مباشر (من النيازك)، أو على نحو غير مباشر بتحليل أطياف الأشعة الصادرة. أمَّا في ما يتعلق بعمر النصف البيولوجي، فإنه يتعلق إمَّا باطراح نصف تركيز مادة ما خارج الجسم، أو بفقدان خمسين في المئة من الجزيئات لفاعليته (التحفيزية كما هي الحال في الأنزيمات، أو الانتساخية كما هي الحال في عوامل الانتساخ وعوامل النمو وبعض الهرمونات، أو الفيزيولوجية كما هي الحال في كثرة من الهرمونات . . .). ومع أنَّ المخطط البياني لعمر النصف البيولوجي يماثل المخطط البياني لعمر النصف الفيزيائي، فإنه لا يتوافق معه توافقاً صارماً.





الشـكـل 3 .25. صورة بـالألـوان الـطبيعية لسديم بـدئـي يمر بمرحلة الانهيار على نفسه، ويحقق شكل قرص مسطح يدور حول ذاتـه. وبـسـبب مـن هـذا الانـهـيـار، فـإن الـكثافة ودرجـة الحرارة والضـغط تـتـزايـد من المحيط باتجاه المركـز. ويـعـتـقـد بعض الـفـلـكـيين أن المجموعة الشـمسـيـة مـرت، في أثـناء تشـكـلها، بمرحلة تشـبه هذه المرحلة للسديم الـبـدئي (Bersani et al.,1983، المرجع 14، ص. 57).

وتجدر الإشارة أخيراً إلى العلاقة التي تربط بين درجة حرارة الكواكب وتركيبه الكيميائي. ففي الوقت الذي كان فيه القسم المركزي من السديم البدئي يتقلص منهاراً على نفسه بتأثير ثقالته، كانت درجة حرارة هذا القسم تتزايد تدريجياً بفعل التقلص والانهيار. وفي حين أنَّ درجة حرارة المركز ارتفعت ارتفاعاً كبيراً، فإنَّ حرارة الجزء المحيطي البعيد لم تكن لتتجاوز بضعة آلاف كلِفن. ومع تبرد السديم البدئي، شرعت مركبات معدنية (فلزات) مختلفة بالتشكل وبالتكثف. وعلى ما يبدو فإنَّ مركبات الكلسيوم، والألمنيوم، والمغنزيوم، والتيتان، ظهرت قبل أن ترتفع درجة الحرارة إلى ألفي كلِفن وذلك بسبب بنيتها البلورية. وعند قرابة ألف كلِفن، تكثفت أنواع السيليكا، وعدد من أكاسيد المعادن. ولم يظهر الحديد والكبريت إلا بعد أن أصبحت درجة حرارة الجملة 700 كلِفن. وعندما اقتربت درجة الحرارة إلى 180 كلِفن (أي قرابة ناقص 95 درجة مئوية، أو 95 درجة تحت الصفر المئوي أو تجمد الماء)، تصلب بخار الماء على شكل جليد. وما بين 50 إلى 20 كلِفن، تكثف الميتان على شكل حبات صلبة. وفي أثناء هذه التحولات كلها، حدثت تفاعلات كيميائية عديدة قادت إلى تشكل المركبات المعدنية، التي تغزر في عدد من كواكب المنظومة الشمسية. أمَّا في ما يتعلق بتشكل المركبات العضوية على سطح بعض الكواكب، فلقد ظهرت نتيجة سيرورات كيميائية، حدثت خلالها تفاعلات بين أول أكسـيـد الـكـربـون والـهـدرجين الـغـازي، حـيـث قـام رابع أكسيد الحديد وهدرات السيليكا بدور المحفز لحدوث هذه التفاعلات. وتزايدت في مركز الكوكب درجات الحرارة (نتيجة التقلص والانهيار بفعل الثقالة)، بحيث أدَّت في النهاية إلى انطلاق شرارة إشعال التفاعلات النووية الحرارية، فأخذت الشمس الوليدة بتحويل ملايين أطنان الهدرجين إلى هليوم، وحرارة، وإشعاع (أي إلى طاقة)، سينعم بها بعد أكثر من أربعة مليارات عام إنسان الأرض (وكما سنرى في القسم الثالث من هذا الكتاب، فإنَّ بدايات الجزيئات البيولوجية -بدايات الحياة- ظهرت قبل 2 . 4 مليار عام تقريباً، وإنَّ الإنسان البدائي ظهر قبل أقل من ثلاثة ملايين عام). يمكننا (بعد هذا العرض الموجز) لبعض خصائص كواكب المنظومة الشمسية، أن نشير بإيجاز شديد إلى السمات النوعية لكل كوكب من هذه الكواكب.

I. عُطارد

كما هو مبين في الجدول 3 . 2 فإنَّ كتلة «عُطارد» Mercury، Mercure (رسول الآلهة عند الرومان، وورد في «لسان العرب» أنَّ عُطارد هو الكوكب الذي لا يفارق الشمس) تقل عن كتلة الأرض بما يقارب 18 مرة، ويقل قطره عن قطر الأرض عند خط الاستواء قرابة مرتين ونصف. أمَّا كثافة مادته (غرام للسنتي متر المكعب)، فتقل قليلاً عن كثافة مادة الأرض. وبالنظر إلى ضآلة كتلة عُطارد بالنسبة لكتلة الأرض، فإنَّ حقله الثقالي يقل أكثر بقليل من مرتين ونصف (2.587) عن الحقل الثقالي للأرض. وإذا ما نحن ما قذفنا (افتراضياً) بجسم ما من على سطح عُطارد، فإنَّ قوة القذف يجب أن تمنح الجسم سرعة قدرها 4.3 كيلو متراً في الثانية على الأقل كي يتحرر هذا الجسم من ثقالة الكوكب. وكما كنا عرضنا سابقاً، وكما يتضح من الجدول 3 . 2 فإنَّ سرعة التحرر من ثقالة الأرض تبلغ 11.2 كيلو متراً في الثانية. إنَّ النسبة بين سرعتي التحرر (من الأرض ومن عُطارد) تبلغ إذاً 2.6 وتساوي استنتاجاً نسبة الثقالتين في خط الإستواء.

وكما يتضح من الجدول 2.3 الغني بالمعلومات، فإنَّ عُطارد يحتاج إلى أكثر بقليل من 58 يوماً أرضياً (58.65) كي يدور حول نفسه[10.3] في حين يحتاج إلى 88 يوماً ليدور حول الشمس (لأنَّه أقرب وسطياً من الأرض إلى الشمس أكثر بقليل من مرتين ونصف، أي 2.58). ويعني هذا أنَّ عُطارد يتلقى من الشمس أضعاف ما تتلقاه الأرض من حرارة وإشعاع. وتبلغ درجة حرارة سطح عُطارد النهاري 430 درجة مئوية، في حين تبلغ درجة حرارة سطحه الليلي 170 درجة مئوية تحت الصفر. وتجدر الإشارة هنا إلى أن مدة «يوم» عُطارد تبلغ ضعف مدة «سنته»، أي إن قسماً من سطحه يتعرض لحرارة وإشعاع الشمس مدة 176 يوماً (يرجع إلى الحاشية 3 . 10). وكما كنا عرضنا في الفقرة السابقة (3 . 4 . 2 . 1)، فإنَّ قرب عُطارد من الشمس، ومن ثم درجة حرارة سطحه، تحول دون تكاثف بخار الماء على شكل ماء سائل، يتيح للجزيئات العضوية المعقدة التركيب وللجزيئات البيولوجية بالتشكل، الأمر الذي منع ظهور الحياة على سطح هذا الكوكب، الذي يتألف من أملاح معدنية صلبة صخرية البنية، وتظهر عليه فوهات حفرية يمكن أن يصل قطر بعضها إلى 200 كيلو متر، ويوجد في أعماقها ماء جليدي (الشكل 3 . 26). وتجدر الإشارة أخيراً إلى أنَّ كتلة عُطارد من الضآلة بحيث لا تتيح تشكل جو حول هذا الكوكب بسبب ضآلة قوة ثقالته. هذا بالإضافة إلى قرب عُطارد من الشمس بحيث تصبح الطاقة الحركية للجزيئات (وبسبب من الحرارة النهارية العالية) أعلى من قوة ثقالة عُطارد (سرعة التحرر من عُطارد أقل بمقدار 2.6 من سرعة التحرر من الأرض)، فتنطلق هذه الجزيئات خارج الكوكب، لتدخل في بنية السحب السديمية التي توجد بين كواكب المنظومة الشمسية. ولقد أمكن قياس الضغط الجوي حول عُطارد، وتبين أنَّه ضعيف

(3 . 10) لقد رأينا أنه لا بد من التمييز بين التدوير rotation والدوران revolution، révolution في ما يتعلق بعُطارد خاصة، والكواكب والنجوم عامة. فتدوير الكوكب يمثل عموماً «تدويمه» حول نفسه، أمَّا دورانه فيتمثل برسم الكوكب دورة كاملة حول الشمس. فعُطارد يرسم دورة كاملة حول الشمس مرة كل 87،969 يوماً أرضياً، ويدور حول نفسه مرة كل 58،65 يوماً، في حين كان قد اعتقد في الماضي بأن مدة تدوير عُطارد تساوي مدة دورانه. ولكن تم التأكد مؤخراً من أنَّ مدة التدوير تساوي تماماً ثلثي مدة الدوران، أي $\frac{87.969}{3} \times 2 = 58.65 \pm 0.25$ ولقد تبين أيضاً أن نقطة ما على سطح عُطارد تعود إلى مكانها مرة كل دورانين حول الشمس، أي كل 176 يوماً أرضياً. واتضح أيضاً أنَّ جانباً من عُطارد يتعرض لحرارة الشمس وأشعتها مدة 176 يوماً أرضياً، وبالتالي تكون مدة «يوم» عُطارد (أو مدة نهاره المشمس) ضعف مدة «سنته».

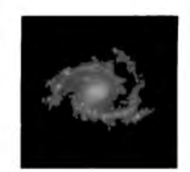




الشكل 3 .26. صورة بالألوان الطبيعية لجزء من سطح عُطارد يتعرض لأشعة الشمس المحرقة، تظهر عليه حفر مخروطية فتية، عمر كل منها مليار عام تقريباً . كما تظهر حفر مُعَمِّرة أقل وضوحاً، يبلغ عمر كل منها بضع مليارات من السنين. وتنطمر هذه الحفر المعمرة مع مرور الزمن بفعل الرياح الشمسية [صورة غلاف «مجلة العلوم» (الكويت). انظر : R.M . نيلسن، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **14**، العدد **12**، ديسمبر (كانون الأول) 42ـ50 (1998)] .

جداً، ويساوي جزءاً من ألف مليار من البار (أو 10^{-12} بار[11.3]. أي إن الضغط في « جو » عُطارد يقل أكثر بقليل من ألف مليار مرة عن الضغط في جو الأرض (أو الضغط الجوي الأرضي) الذي يعادل 1.01325 باراً، أو 0.98697 جواً (يرجع إلى الحاشية 3 . 11). ولقد أمكن التأكد من أنَّ الغاز الوحيد الموجود في جو عُطارد هو الهليوم الذي يحتمل أن يكون قد نتج عن تلاشي اليورانيوم أو التوريوم (الموجودين في قشرة عُطارد)، هذا التلاشي الذي يسبب أيضاً انطلاق جُسيمات بيتا . وكما كنا عرضنا في ما سبق، يمكن لجُسيمات ألفا أن تتشكل نتيجة اندماج نواتي دوتِريوم اللتين تشكلان عندئذ جُسيمات ألفا . كما يمكن لجسيمات ألفا أن تتشكل نتيجة تلاشي بعض العناصر المشعة (اليورانيوم والتوريوم في حال قشرة عُطارد). فإذا ما أسر كل جُسيم ألفا إلكترونين (لجُسيم بيتا شحنة الإلكترون أيضاً)، تنشأ عندئذ ذرات الهليوم الغازي. ونظراً لخلو عُطارد من الماء والجو الغازي، فإنَّ تربته لا تعاني أي تآكل .

(11.3) البار :bar وحدة الضغط وتعادل 10^{5} باسكال (نسبة إلى الرياضي الفيزيائي والفيلسوف الفرنسي »بليز باسكال« Blaise Pascal، 1623–1662). والباسكال هو وحدة الضغط أيضاً، وتعادل الضغط الذي يبديه 1 نيوتن (وحديثاً 1 باسكال) مطبقاً وموزعاً توزعاً متجانساً على سطح مساحته متر مربع واحد. والجو atmosphere، atmosphère هو وحدة الضغط (الجوي)، وتعادل الضغط الذي يبديه 101 325 باسكال (نيوتن) على سطح مساحته متر مربع واحد (كان الضغط الجوي يقاس قديماً بوحدة قدرها ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 760 ميلي متر في درجة حرارة صفر مئوية وبثقالة معيارية). يمكن القول إذاً إنَّ البار يساوي $\frac{100000}{101325} = 0.9869$ جواً، وإنَّ الجو يساوي 1.01325 باراً.



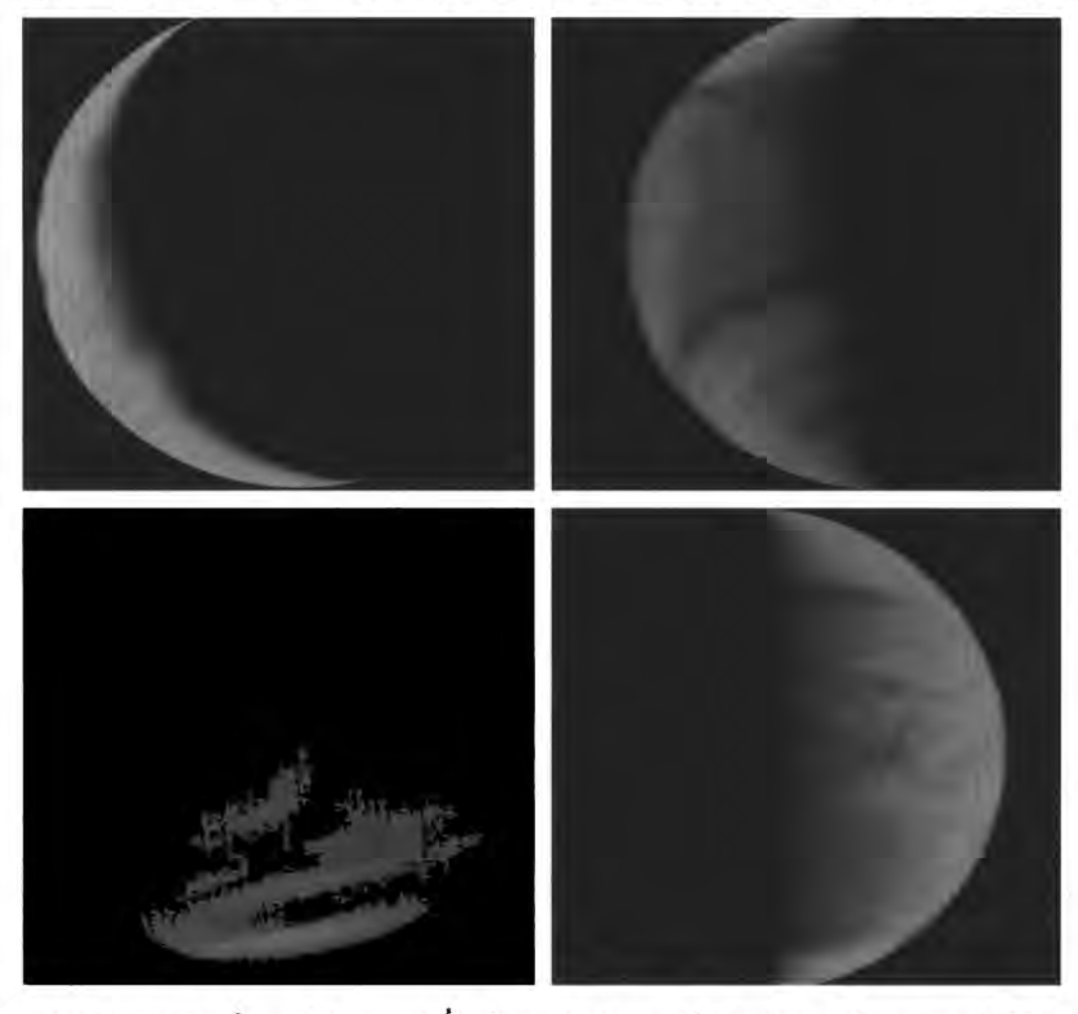
II.الزُهرة

يعد كوكب «الزُهرة» Venus أشد الكواكب تألقاً بعد الشمس والقمر . ولعل هذا التألق هو الذي أوحى للفلكيين بتسمية هذا الكوكب باسم إلهة الحب والجمال عند الرومان (Venus) (الشكل 3 . 27) . ويرجع السبب الأساسي في هذا التألق وهذا اللمعان إلى أنَّ الكوكب محاط بسحابة، تتألف طبقتها الخارجية من قطيرات من حمض الكبريت (السلفيريك) محمولة في طور مائي سائل . إن هذا المزيج يتصف بعكسه الشديد لأشعة الشمس، الأمر الذي يفسر تألق الزُهرة . وتتلقى الزُهرة (بالنظر إلى قربها من الشمس) ضعفي كمية الأشعة التي تتلقاها الأرض .

الشكل 3 . 27. صورة بالألوان الطبيعية لنصف الكرة الجنوبي للزُهرة . لقد أُخذت هذه الصورة من الأرض في 11 شباط (فبراير) 1979 من قبل المركبة الفضائية « بايونير فينيس » Pioneer Venus (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص . 70) .

وكما يتضح من الجدول 3 . 2فإنَّ كتلة الزُهرة تقل قرابة 23 في المئة فقط عن كتـلة الأرض، أمَّا القطر، فيقل قليلاً جداً عن قطر الأرض (قـرابة 5 في المئة فقط) . كما أنَّ كثافة مادة الزُهرة تقارب كثيراً كثافة الأرض (تزيد كثافة الأرض على كثافة الزهرة 5 في المئة فقط)، وكذلك ثقالة الكوكبين (تزيد ثقالة الأرض على ثقالة الزُهرة قرابة 14 في المئة فقط) . كما أنَّ سرعة التحرر متقاربة جداً (تزيد في حال الأرض 9 في المئة فقط على سرعة التحرر للزُهرة). وقد يوحي هذا التمـاثـل بإمكان ظهـور الحيـاة على كوكـب الـزُهـرة .

وتتمثل الخصائص الفيزيائية للزُهرة (التي تتباين فيها مع مثيلاتها في الأرض) ببعد الزُهرة عن الشمس (تبعد الأرض عن الشمس أكثر من مرة وثلث من بُعد الزُهرة)، وبمدة التدوير الكوكبي (تزيد مدة التدوير الكوكبي للزُهرة أي «تدويمها» حول نفسها 243 مرة تقريباً على مدة تدوير الأرض)، وبكمية أشعة الشمس التي يتلقاها الكوكبان (تتلقى الزهرة ضعف الكمية التي تتلقاها الأرض)، وبالأطوار التي تمر بها الزُهرة بالنسبة إلى الشمس (الشكل 3 . 28)، وبالضغط ذي الارتفاع



الشـــكل 28.3 . أربع صور بالألـــوان الطبيعية للأطـــوار التي تمر بها الزُهرة أُخذت، من الأرض بدءاً من 5 كانون الأول (ديســـمبر) 1978 (العلوي الأيسر) وحتى 10 نيسان (أبريل) 1979 (السفلي الأيمن) وما بينهما (25 كانون الأول ـ ديسمبر ـ 1978) و9 شباط (فبراير)، حيـث أنارت الشـــمس كامـــل سطح الكـــوكب . ويمر بهذه الأطوار الأربعة (بالإضافة إلى الزُهرة) كل من عُطـــارد والقمر (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 71) .

المفرط بجو الزُهرة، حيث يزيد هذا الضغط أكثر من 96 مرة على الضغط الجوي الأرضي، ويترافق مع درجة حرارة من رتبة 735 كلفن أو مطلقة. إنَّ هذه الخصائص بالذات هي المسؤولة بصورة أساسية عن عدم ظهور الحياة على سطح كوكب، يتماثل بخصائص عديدة مع كوكب الأرض. وكما كنا عرضنا في الفقرة السابقة، فإن إخفاق كوكب الزُهرة في عدم تمتعه بالحياة إنما يرجع بصورة رئيسة (وكما هو الأمر في حال عُطارد) إلى عدم تمكنه من الاحتفاظ بالماء في طوره السائل، وإنما استبقاه في جوه على شكل بخار وفي أعماقه حفره على شكل جليديات.

وفي حين أن جوَّ عُطارد يتألف بصورة أساسية من الهليوم، ويتألف جو الأرض من الآزوت والأكسجين وثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى ثانوية، فإنَّ جو الزُهرة يحتوي بصورة رئيسة على الغازات التالية التي يتناقص تركيزها وفقاً لترتيبها: ثاني أكسيد الكربون CO_2 والآزوت N_2 وبخار الماء H_2O، والأرغون، والنيون، والأكسجين، وأول أكسيد الكربونCO، وثاني أكسيد الكبريت SO_2، وكربونيل الكبريت COS، وسلفيد الهدرجين H_2S . وبالنظر إلى أنَّ جو الزهرة يتألف بصورة أساسية من ثاني أكسيد الكربون، فإنَّ ارتفاع درجة حرارة سطح الزُهرة (730 كلفن) إنما يرجع بصورة أساسية إلى ظاهرة الاحتباس الحراري (أي إنَّ ثاني أكسيد الكربون يشكل طبقة عازلة، تمنع التبادل الحراري مع الطبقات الجوية الأعلى، وتحتبس بالتالي حرارة الشمس، كما يحدث في البيوت الزجاجية والبلاستيكية، أو مايعرف بالدفيئة). ويمكن أن يُعزى الفرق بين تركيز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء في الطبقات العليا من جو الزُهرة، وتركيز هاتين المادتين في جو الأرض، إلى تحول قسم كبير من ثاني أكسيد الكربون في الأرض إلى صخور سيليسية كلسية ($CaSiO_3$)، وإلى صخور كربونية ($CaCO_3$) من خلال الاستحالات الكيميائية، التي حدثت في أثناء سيرورات تبرد قشرة الأرض، وإلى تكثف بخار الماء، ليشكل المحيطات والأنهار الأرضية. وبدهي أن يلعب بُعد الكوكبين عن الشمس الدور الأساسي في نشوء هذا الفرق الجوهري.

III. الأرض

كنتيجة للمبدأ البشري (بسبب وجود الإنسان على الأرض، يُرجع إلى المقدمة)، فإننا نمتلك معارف عن كوكب الأرض أكثر بكثير مما نمتلكه عن بقية كواكب المنظومة الشمسية، حتى أننا ننسب (بغرض المقارنة) عدداً من الخصائص الفيزيائية لهذه الكواكب إلى نظرائها للأرض. وكما يبين الجدول 3 .2 فإنَّ كتلة الأرض تبلغ قرابة ستة ملايين مليار مليار كيلوغرام، ويبلغ قطرها في خط الاستواء 756 12 كيلو متراً، وكثافتها الوسطية 5.25 غراماً للسنتي متر المكعب، وحقل ثقالتها في الاستواء 9.78 متراً في مربع مربع الثانية، وسرعة تحرر الأجسام من هذا الحقل الثقالي 11.2 كيلو متراً في الثانية. وتدور الأرض حول نفسها (التدوير) مرة كل 23.9345 ساعة، وتبلغ مدة دورانها حول الشمس 365.3 يوماً، وتبعد وسطياً عن الشمس 149.6 مليون كيلو متراً. ويمثل هذا البعد المسافة الفضلى لنشوء الحياة واستمرارها. ولا بد من الإشارة إلى أنَّ الأرض ليست كروية تماماً، فهي مسطحة قليلاً في القطبين، وذات انتفاخ بسيط في محيط الاستواء (يزيد قطرها في الاستواء 24 كيلو متراً على قطرها القطبي). فشكل الأرض إذاً أقرب إلى البيضوي (الإهليليجي) منه إلى الكروي. ويعزى هذا التسطح القطبي والانتفاخ الاستوائي إلى قوة النبذ الناجمة عن دوران الأرض حول نفسها، وبخاصة بعد تشكلها مباشرة قبل 4.5 مليار سنة، إذ يفترض أنَّ مدة تدويرها حول نفسها كانت آنئذ سريعة جداً، وتبلغ ما بين ساعتين وثلاث ساعات فقط. وكما كنا عرضنا غير مرة، فإنَّ الأرض تتميز عن بقية كواكب المنظومة

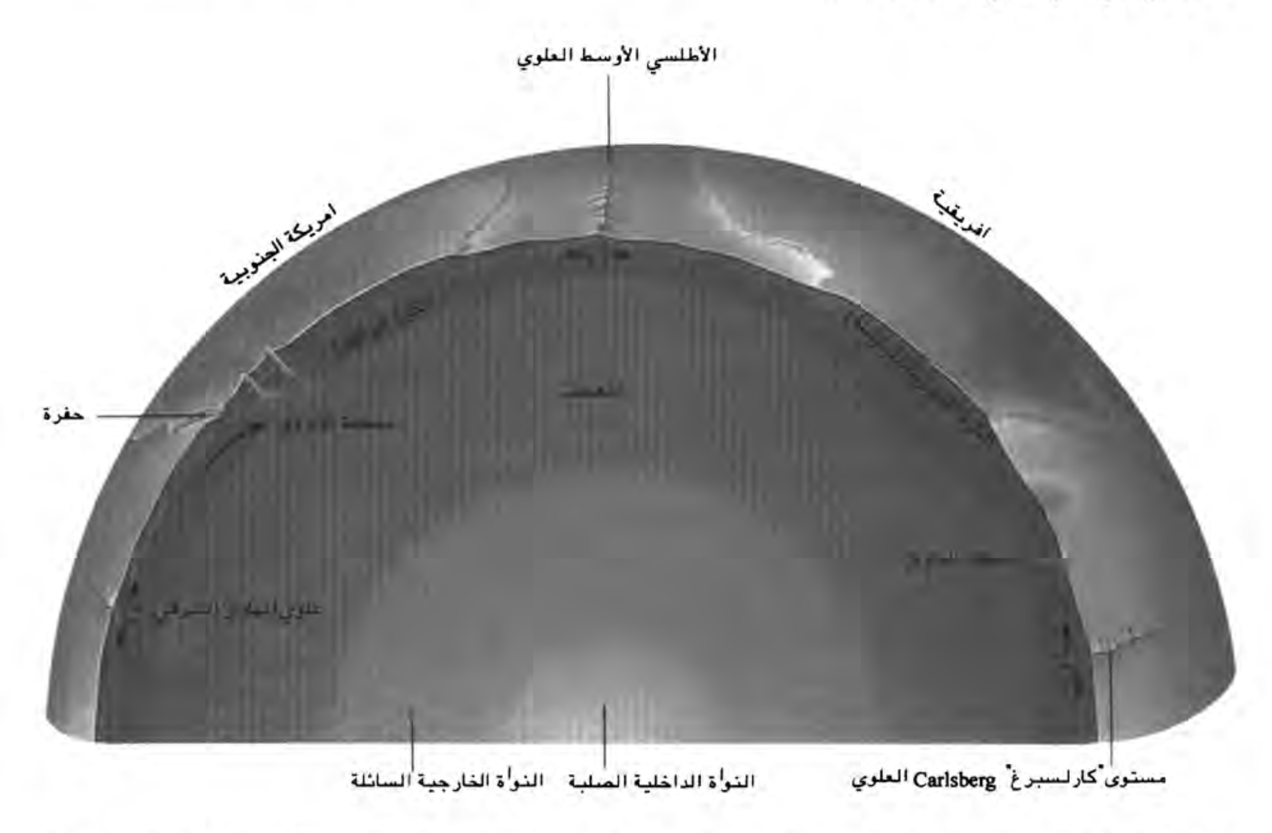


الشمسية بجوها غير المرجع (الغني بالأكسجين). أمّا أجواء تلك الكواكب (وكذلك النجوم والسواتل كافة) فهي أجواء مرجعة لغناها بالهدرجين.

أماً في ما يتعلق بالتركيب الكيميائي لباطن الأرض، فإنّ معظم معارفنا عن هذه البنية، قد اشتقت من دراسة انتشار الموجات الزلزالية (الشكلان 3 . 29 و 3 . 30). فمركز الأرض يتألف من نواة داخلية صلبة، تتوضع فوقها نواة خارجية سائلة. وتتألف كلا النواتين من الحديد بنسبة 24 في المئة (من كتلة الأرض الكلية)، ومن الكبريت 5 في المئة، ومن النيكل 3 في المئة. وقد يُعزى وجود هذه العناصر الثلاثة بالذات (وبخاصة الحديد) إلى شدة استقرار نوى هذه العناصر التي قاومت التفاعلات النووية الحرارية. وكما عرضنا غير مرة، فإنّ شدة ثبات نواة الحديد تنهي (بسبب هذا الثبات) سلسلة الاندماج النووي في درجات الحرارة العالية في أثناء تشكل النجوم والكواكب. ويقدر بُعد بداية النواة الخارجية 900 2 كيلو متر عن سطح الأرض. ويبلغ نصف قطر النواة الخـارجية قرابة 200 2كيلومتر. أما نصـف قطر النواة الداخلية، فيبلغ 250 1 كيلو متراً تقريباً (الشـكل 31.3).

الشكل 29.3 (الشرح في الصفحة التالية)

الشكل 3 . 29. صورة الكوكب الأزرق - الأخضر، أو الفيروزي (الأرض)، أُخذت بالألوان الطبيعية من قبل ملاحي إحدى رحلات أُوبولو . تظهر هذه الصورة أهمية مساحة المحيطات (اللون الأزرق - الأخضر) [عن «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **16** العددان **7** و **8** يوليو - أغسطس (تموز- آب)، ص22-44 (2000)] .

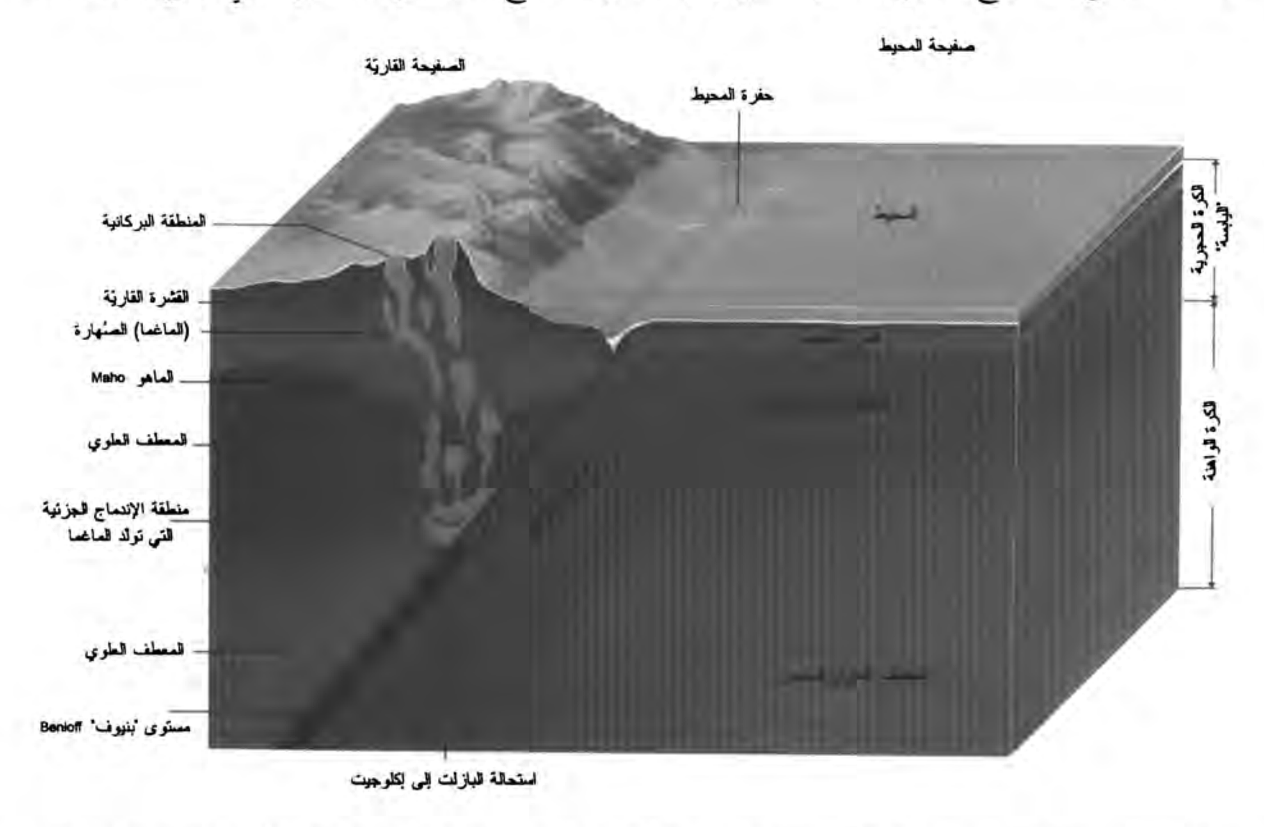


الشكل 3 . 30. مخطط ترسيمي لبنية الأرض الداخلية . إن معارفنا عن هذه البنية تقوم على ملاحظة انتشار الأمواج الزلزالية . لقد تم في هذا الترسيم للمقطع توسيع سطح الأرض (المحيطات واليابسة) على حساب البنى الداخلية (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 82) .

وتلي النواة الخارجية طبقة تعرف بالمعطف manteau ، وتبدأ على عمق 30 كيلو متراً من سطح اليابسة (سطح البحر) وعلى عمق 10 كيلومترات من قاع المحيط ، وتمتد حتى بدء النواة الخارجية (أي قرابة 870 2 كيلو متراً من نهاية القشرة الخارجية في مستوى سطح البحر و890 2 كيلو متراً من نهاية القشرة في قاع المحيط) , ويتألف المعطف من الأكاسيد التالية (كنسب مئوية من كتلة الأرض الكلية) : أكسيد السيليسيوم SiO_2 23 في المئة ، و أكسيد المغنزيوم MgO 23 في المئة ، وأول أكسيد الحديد FeO ، و ثاني أكسيد الحديد Fe_2O_3 7.5 في المئة ، وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 2 في المئة ، وأكسيد الكلسيوم CaO 2 في المئة ، ومركبات أخرى 5 . 1 في المئة .

ويقسم المعطف إلى طبقتين : المعطف الأعلى الحار ، والمعطف الأعلى البارد . ويشكل المعطف الأعلى الحار ما يعرف بالغلاف الواهن asthenosphere ، asthénosphère . أمَّا القسم الخارجي من المعطف الأعلى البارد ، فيشكل مع قشرة الأرض الغلاف الحجري (الصلب) lithosphere ، lithosphère (وتجدر الإشارة إلى أنَّ لقشرة الأرض ثخناً يبلغ 30 كيلو متراً في اليابسة ، وتعرف بالقشرة القارية ، و10 كيلومترات بدءاً من قاع المحيط ، وتعرف بقشرة المحيط - يرجع إلى الشكل 3 . 30) . وللغلاف الحجري بنية فسيفسائية ، تتألف قطعها مما يعرف بالصفائح التكتونية tectonic

plates، plaques tectoniques، ولقد أمكن تعرف عدد منها، يفوق اثنتي عشرة صفيحة. ويمكن لبعض هذه الصفائح ذي الأبعاد المتباينة أن يعاني (بالنسبة للصفائح الأخرى) حركات انزلاقية حاملاً معه الكتل القارية التي تتحرك متوافقة مع الحركة الانزلاقية. ولقد اتضح منذ زمن بعيد أنَّ الفعاليات الزلزالية تتركز على طول الخطوط الحدية لهذه الصفائح. ويمكن لنقـاط تمفصل الصفائـح أن تكون سطحية نسـبياً وقليلة العمق، فتصبح عندئذ مقراً لنشاط بركـاني داخل المحيطات.



الشكل 3 . 31. مخطط ترسيمي يوضح انزلاق subduction صفيحة (تكتونية) من يابسة المحيط (النيلي العاتم) تحت صفيحة مجاورة . ففي مناطق الانهدامات التي تشكل المحيطات (الأزرق) ، تنعطف اليابسة لتعود إلى المعطف (الأحمر الناري) . وتتصف هذه المنطقة (التي تعرف بمنطقة الانزلاق الانغرازي) بفاعلية بركانية وزلزالية نشطة ، وتحدث على عمق كبير قد يصل إلى 700 كيلومتر . كما يمكن للصفائح التكتونية أن تتقابل في مناطق الصدوع (الفوالق التكتونية flaws، failles) دون أن تنسحب الواحدة منغرزة تحت الأخرى (أي تبقيان في مستوٍ واحد)، كما هي الحال في صدع سان أندرياس في كلفورنيا . وعندما تصبح كتلتان قاريتان على تماس بعضهما مع بعض في منطقة انزلاق انغرازي ، فإن التصادم يؤدي إلى سـلاسل جبلية (الأخضر) (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 83) .

وكما كنا أشرنا في معرض حديثنا عن المنظومة الشمسية (يرجع إلى الفقرة 3 . 4 . 2)، فإنَّ نشوء الحياة على الأرض كان قد ارتبط بالمسافة بين الشمس والأرض التي ضمنت للماء أن يبقى في طوره السائل. وكما بينا أيضاً في معرض حديثنا عن كوكب الزُهرة، فإنَّ عدم نشوء حياة على هذا الكوكب، لم يكن بسبب حرارة سطحه (التي أدَّت إلى تحول الماء السائل إلى بخار) فحسب، وإنما أيضاً إلى ظاهرة الاحتباس الحراري (الدفيئة) التي نجمت عن وجود طبقة كثيفة وكتيمة من غاز ثاني أكسيد الكربون في جو الزُهرة. ولقد أَسهمت هذه الطبقة في زيادة سخونة سطح هذا الكوكب وارتفاع ضغط جوه. يمكننا الاستنتاج إذاً أنَّ الاستمرار السوي للحياة على الأرض رهن ليس بوجود الماء السائل فحسب،

وإنما بالتركيب الغازي لجو الأرض. وكما هو معروف، فلقد أدّى النشاط البشري اللاعقلاني الجشع في القرنين الأخيرين (وبخاصة في النصف الثاني من القرن العشرين) إلى طرح كميات هائلة في جو الأرض من غاز ثاني أكسيد الكربون(12.3) وغازات ضارة أخرى، الأمر الذي ساعد على نشوء ظاهرة الدفيئة، وأدّى إلى تشقق طبقة الأوزون. كما أنّ الاستعمال غير الرشيد للماء العذب، وطرح النفايات الصناعية في الأنهار والبحيرات، قاد إلى شح واضح في المياه العذبة، وإلى تلوث غير عكوس لعدد من مصادر هذه المياه. ولقد أدّى هذا الإخلال البشري في النظام البيئي الجوي والأرضي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض، الأمر الذي تم التعبير عنه بتصحر واسع، وجفاف واضح في بعض المناطق، وفياضانات في مناطق أخرى (ظاهرة النينو El Nino مثلاً). كما قادت هذه الآثار (معززة بتدمير مساحات كبيرة من الغابات والأراضي الرعوية والصيد الجائر) إلى انقراض عدد كبير من الأنواع الحيوانية، وبعض الأنواع النباتية، وإلى اعتبار عدد آخر منها مهدداً بالانقراض. فالاستمرار النظامي للحياة (في ما يتعلق بعدد كبير من الأحياء على الأقل) رهنُ توازنٍ نوعي بين سطح الأرض وجوها، والحفاظ على نظام بيئي يتمتع بالحد الأدنى من الخصائص الطبيعية التي ساعدت على نشوء الحياة واستمرارها.

I.III. القمر

القمر هو ساتل satellite (وجمعها سواتل، كل جسم يدور حول جسم أكبر منه) الأرض الوحيد، والأول لمجموعة الكواكب الداخلية، ذلك أن عُطارد والزُهرة لا يملكان أي ساتل، في حين أنّ لبقية كواكب المنظومة الشمسية سواتل متباينة العدد. ولا تعرف الأسباب الحقيقية لعدم وجود سواتل تدور حول عُطارد والزُهرة، وقد يكون لقربهما من الشمس علاقة بذلك. فالكتلة الهائلة للشمس قد تجتذب أي ساتل كتلته تقل عن كتلة عُطارد (330 ألف مليار مليار أو 3.3×10^{23} كيلو غرام). وقد يمثل تشكل القمر حدثاً متفرداً لم يتكرر في ما يتعلق بالكواكب الداخلية (يُرجع إلى

(12.3) يبين الجدول التالي (3.3) كميات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تراكمت في جو الأرض حتى عام 1990 والكميات المتوقع تراكمها في عام 2010 وعام 2020 إذا لم تُتخذ إجراءات استثنائية للحيلولة دون حدوث كارثة، تحيق بأشكال الحياة كافةً (بما في ذلك الإنسان) والموجودة على الأرض نتيجة ظاهرة الدفيئة و التي لها ما يماثلها في كوكب الزُهرة.

الجدول 3.3. كميات CO_2 (مقدرة بمليون طن من الكربون) المنطلقة في جو الأرض حتى العام 2020 تقديريا (عن Godard, 1998)[19].

المصدر	1990	متوسط 2010	متوسط 2020
الاتحاد الأوروبي	874	1 018	1 115
روسيا و أوكرانيا ودول البلطيق	804	675	979
اليابان	315	411	415
الولايات المتحدة المريكية	1 353	1 752	2 072
الصين	648	1 388 (الدنيا)	1 692
الهند	203	400 (الدنيا)	530 (الدنيا)

وبالنظر إلى أن هذه الكميات تمثل ما ينطلق من CO_2 الناتج عن توليد الطاقة فقط، فيمكن الافتراض أنّ هذه الكميات كلها لم تكن موجودة في جو الأرض منذ قرنين من الزمن، وأنها مسؤولة عن الاضطرابات المناخية كافةً، وعن ارتفاع درجة حرارة الأرض الكلية.

19. Godard, O., La Recherche **314**, 28 – 30 (1998).





الجدول 3 . 2) . وتبلغ كتلة القمر (ساتل الأرض) 366 . 7 × 10^{22} أو 66 . 73 ألف مليار مليار كيلو غرام (أي 23 . 1 في المئة من كتلة الأرض) . ويبلغ قطره 476 3 كيلو متراً، أو 25 . 27 في المئة من قطر الأرض . أمَّا كثافة مادة القمر، فتبلغ 33 . 3 ؛ أي 33 . 60 في المئة من كثافة الأرض . وتبلغ ثقالته 62 . 1 متراً في مربع مربع الثانية، في حين أنَّ ثقالة الأرض تساوي 78 . 9 وهذا ما يجعل قوة جذب القمر للأجسام أقل بست مرات تقريباً من قوة جذب الأرض (أي إنَّ الجسم الذي يزن 60 كيلو غراماً على سطح الأرض يزن 10 كيلو غرامات فقط على سطح القمر) . أمَّا المسافة الوسطية التي تفصل القمرعن الأرض، فتبلغ 384 402 كيلو متراً (الشكلان 3 . 32 و 3 . 33) . وبالنظر إلى تأثير ثقالة الأرض في أجزاء مادة

الشكل 3 . 32 ـ أ. صورة نادرة بالألوان الطبيعية لهلالي الأرض والقمر، أخذت ليلة 18 أيلول (سبتمبر) عام 1977 من قبل المركبة الفضائية «فوايـاجير» Voyager التي كانت تبعد عن الأرض قرابة 11 660 000 كيلومتر، وتقع فوق قمة أفريست . ويمكن ملاحظة المحيط الهادئ والقسم الشرقي من آسيا، وكذلك أفريقية (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 96) .

الشكل 3 . 32 ـ ب . صورة بالألوان الطبيعية للأرض من القمر ، أو « بزوغ الأرض »، أخذت من قبل أحد ملاحي المركبة « أبولو ـ 11 » في 13 كانون الأول (ديسمبر) 1977 (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 113) .



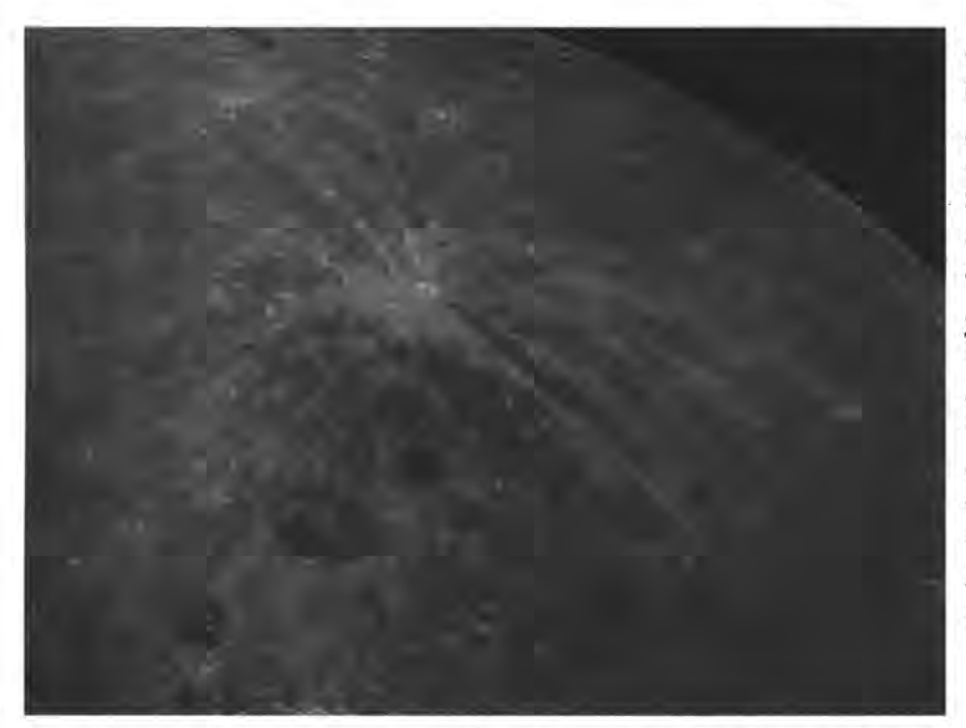
الشكل 3 . 33. صورة للقمر كما ظهر من المركبة الفضائية « أبولو ـ 16» . إنَّ الثلث الأيسر من القمر هو الوجه الوحيد الذي تراه الأرض ، ويظهر في أقصى يسار هذا الثلث « بحر الكريزيوم «Crisium ، وأقرب إلى المركز يظهر بحرا « مارجينيس » و « سميثياي » . ويمثل يمين الصورة جزءاً من الوجه الذي لا يُرى أبداً من الأرض، والذي يخلو كلياً من البحار القمرية (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 99) .

القمر (الذي يعرف بالمد (13.3) marée,tide)، فإنَّ مدة تدوير القمر (تدويمه، أو دورانه حول نفسه)، ومدة دورانه حول الأرض أصبحتا متساويتين، وتبلغ كل واحدة منهما شهراً قمرياً، أو 27 يوماً أرضياً. ولهذا السبب بالذات، فإننا لا نرى من الأرض سوى أحد نصفي القمر (النصف المضيء)، في حين ظلت رؤية النصف الآخر المظلم في ما يتعلق بالإنسان مستحيلة حتى ستينات القرن الماضي، حيث أخذت المقاريب، والمختبرات والسواتل والمسابير الفضائية تبث صوراً

(13.3) وفقاً للدراسات التي مهد لها «غاسندي» و«غاليلي» وصاغها بقوانين فيزيائية «كبلر» ثم «نيوتن» بإيضاحه فعل التثاقل، فإنَّ قوة الثقالة المتبادلة بين جرمين سماويين تؤثر في شكليهما حتى لو كانت مادتهما صلبة. فبالإضافة إلى دوران الجسم الأصغر في مدار محدد حول الجسم الأكبر، فإنَّ قوة الثقالة تشوه قليلاً أو كثيراً شكل الجسم الأصغر على الرغم من قساوته. ويرجع الشكل الإهليليجي للأرض ولو جزئياً إلى التأثير الثقالي للشمس (وبطبيعة الحال لتدويمها -تدويرها- حول نفسها). وبالإضافة إلى التأثير التثاقلي المتبادل بين نجمين أو كوكبين، فإنَّ هنالك قوة ثقالية فرعية تسبب انجذاب الجزيئات المختلفة التي تشكل جسم الكوكب. فتسلك عندئذ مادة الكوكب وكأنها لدائنية (بلاستيكية) مرنة، فتعاني تشوهاً تتفاوت درجته وفقاً لطبيعة المواد المكونة لذلك الكوكب. وتعرف قوة الجذب هذه بالمد marée, tide. وإذا ما اقترب جسم صغير من جسم كبير وكانت قوة المد للجسم الكبير في الجسم الصغير أعظم من قوى تماسك جزيئاته، فإنَّ قوة المد تسبب تكسر الجسم الصغير ←

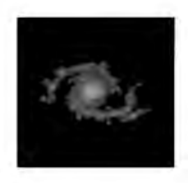


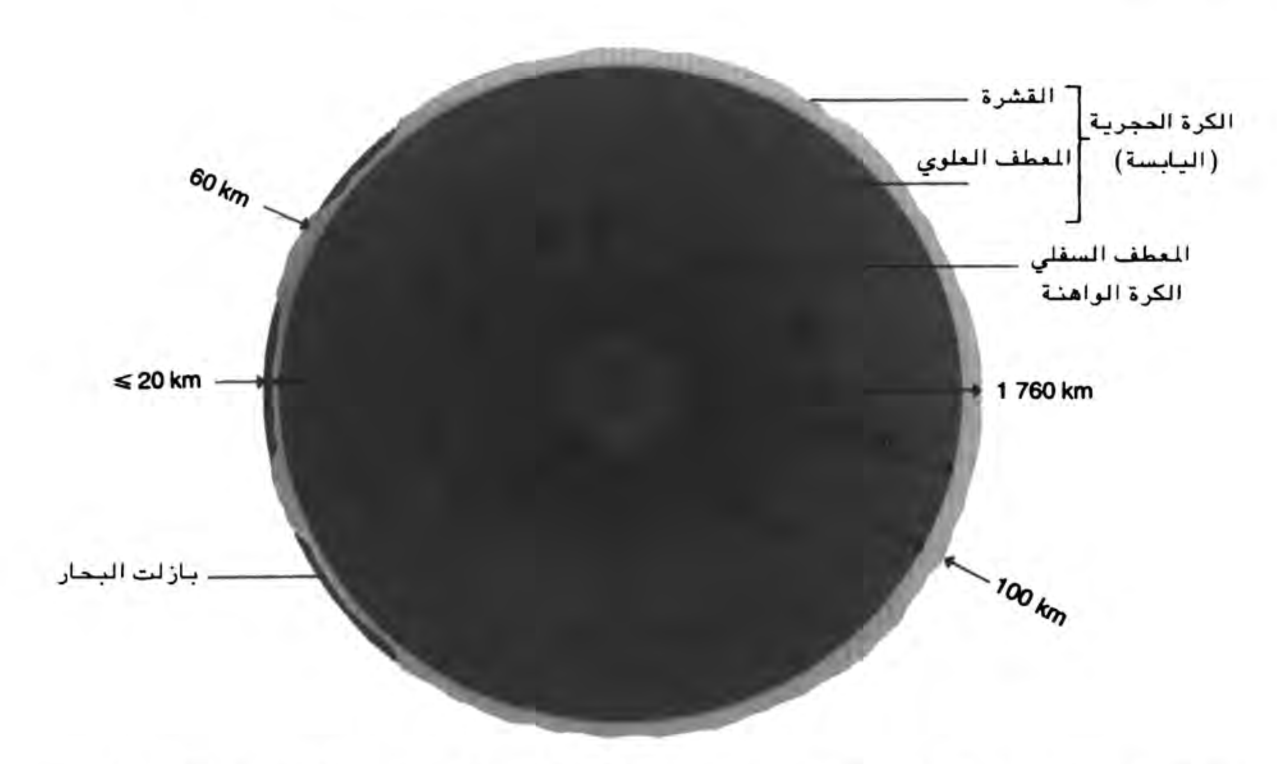
لوجهي القمر (أو كامل سطحه)، وترسل بمعلومات مفصلة عن هذا الساتل، وإلى أن تحققت رحلة «أبولو» في 13 كانون الأول (ديسمبر) عام 1972, ووطئت لأول مرة في تاريخ البشرية قدم الإنسان سطح القمر، فأضافت هذه الرحلة إلى معلوماتنا السابقة كماً هائلاً من المعطيات عن فيزياء، وكيمياء، وجيولوجيا مواقع محددة تماماً من القمر. وما تزال المركبات الفضائية (التي تُرسل باستمرار) توضح أكثر فأكثر الخصائص المختلفة لهذا الساتل. وبالنظر إلى أنَّ محور تدوير القمر ليس عمودياً تماماً على مداره، فإننا نرى من الأرض أكثر من نصفه بقليل. إنَّ ما نراه على نحو دائم كوجه للقمر (الذي يرسم على نحو غامض ملامح وجه إنسان بسبب وجود بحور القمر المعتمة بعض الشيء، الشكل 3. 34) يبلغ 59 في المئة من كرة القمر، ويختبئ عنا باستمرار 41 في المئة من تلك الكرة. هذا ويوضح الشكل 3. 35 البنية الترسيمية للقمر، حيث سيتضح أنَّ الأرض (وبسبب نواتها) تحوي من الحديد ثلاثة أضعاف ما يحويه القمر. ويبين الجدول 3. 4 البنية المقارنة للأرض والقمر.



الشكل 3. 34. صورة بالألوان الطبيعية لفوهة (حفرة) بركان «جيوردانو برونو» التي تتوضع في وجه القمر الذي لا تراه الأرض، يبلغ قطرها 20 كيلومتراً، وتشع منها مجموعة شقوق لامعة تمتد قرابة 400 كيلومتر. ونشأت هذه الشقوق من قذف رذاذي ناعم جداً يندثر خلال ملايين قليلة من السنين بفعل الرياح الشمسية والقصف النيزكي الصِغري (المكروي). إن ندرة الفوهات ذات التشكلات الشعاعية يدل على انعدام رجم أو قصف نيزكي أو شهبي مهم (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 101).

←إلى قطع تتناثر في الفضاء. ومع أنَّ قوة المد ضعيفة بين كواكبِ المنظومة الشمسية (نظراً للمسافات الشاسعة التي تفصل بعضها عن بعض من جهة، وللكتل الهائلة لهذه الكواكب بالنسبة لقوة المد)، فإنَّ تشوهات دورية تظهر في الكواكب المتأثِرة، وتنجم هذه الدورية عن الشكل الدوري الذي يأخذه الجسم في أثناء دورانه بالنسبة للجسم الآخر. وبتأثير قوة جذب القمر للأرض، فإن هذه تعاني تشوهاً دورياً يكون أعظمياً عندما يكون بعدها عن القمر في حدوده الدنيا. ومعظمنا يعرف المد الذي يحدث في المحيطات والبحار نتيجة جذب القمر لهذه الأمواه. ويتباين مستوى ماء البحر نتيجة لهذا الجذب المدي القمري تبايناً كبيرا، فيتراوح بين بضعة سنتي مترات إلى عدد من الأمتار. ويظهر هذا المد (كما هو معلوم) على نحو دوري، كما تسهم الشمس أيضاً (بنسبة 20 في المئة) في المد الذي تعانيه المحيطات. وحتى الأرض الصلبة التي نقف عليها، تعاني مادتها تشوهاً مدياً (أقل وضوحاً)، يتزامن مع مد البحار والمحيطات، «فتصعد» و«تهبط» قرابة 30 سنتي متراً كل 12 ساعة. وبدهي أن تتحرر من قوة المد طاقة حرارية تتبدد، فتلجم حركة الأرض والقمر. فالقمر يبتعد وسطياً عن الأرض مقدار ثلاثة سنتي مترات في العام الواحد. وكانت الأرض (بفعل هذه الطاقة الحرارية المبدَدَة لقوة المد) تدور حول نفسها منذ ملايين السنين بسرعة تفوق تدويرها الحالي. وهنالك من الملاحظات والقياسات ما يشير إلى أنَّ مدة اليوم الأرضي كانت قبل أربع مئة مليون عام 21 ساعة، وليس 24 ساعة تقريباً (مدة اليوم الأرضي الحالي). وكانت أيام السنة قبل 400 مليون سنة تبلغ وسطياً 400 يوم أرضي. ويدعم هذا الاستنتاج أنَّ المسافة بين الشمس والأرض لم تتغير ولن تتغير. وكما كنا عرضنا، فإن تدوير القمر (تدويمه حول نفسه) يتزامن ودوارنه حول الأرض، وتبلغ مدة التدوير والدوران 27 يوماً. وهذا هو السبب (إضافة إلى ميلان القمر على محور دورانه) في رؤية الإنسان في الأرض وجهاً واحداً فقط للقمر (قدره 59 في المئة من كرة القمر)، ويبقى القسم الآخر (41 في المئة) غير مرئي من قبل الإنسان، منذ الأزل، وإلى الأبد.





الشكل 3 . 35.مخطط ترسيمي لبنية القمر . يبلغ ثخن الغلاف الخارجي قرابة 70 كيلومتراً ، وهو أقل ثخناً في الوجه غير المرئي ، ويكون هذا الغلاف مغطى ولو جزئياً بصخور بازلتية . ويشكل المعطف الذي يقع تحت القشرة (الغلاف الخارجي) معظم كتلة القمر ، حيث تحدث غالبية الزلازل . ويبلغ قطر النواة قرابة 600 كيلومتر (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 111) .

الجدول 3 .4. التركيب العام المقارن للأرض وللقمر كنسب مئوية من الكتلة (عن Bersani et al.,1983,) .

العنصر	الأرض	القمر
السيليسيوم	14	20
المغنزيوم	16	19
الحديد	33	10.6
الكلسيوم	1.2	3.2
الألمنيوم	1.2	3.2
التيتان	0.06	0.18
الصوديوم والبوتاسيوم	0.17	0.07
اليورانيوم	0.01	0.033
بقية العناصر	34.36	43.717

وبــدهي أنَّ هذا الجدول لا يشمل الكربونِ والهدرجين والأكســجين . . . .

ومع أنَّ القمر هو الساتل الوحيد الذي تتوفر لدينا منه عينات صخرية، أخذت من مواقع محددة تماماً، وأتت بها إلى المختبرات الأرضية رحلة أبولو في 13 كانون الأول (ديسمبر) عام 1972 فإنَّ كيمياء سطح القمر، وفيزياءه، وجيولوجيته ما تزال موضع دراسات مفصلة ومعمقة. ولقد تناولت آخر هذه الدراسات المعطيات التي يرسلها الساتل لونار بروسبكتور Lunar Prospector (الرائد أو المُنقّب القمري)، والتي كانت موضوعاً لسبعة تقارير علمية نشرت في مجلة Science، المجلد **281** ,4 أيلول (سبتمبر) 1998, مع ملخص تحليلي كتقديم لهذه التقارير [20] .

لقد تشكل القمر (كبقية كواكب المنظومة الشمسية كما عرضنا غير مرة) منذ 4.5 مليار عام، وذلك عندما تصادم نيزك ضخم متفجر له حجم المرِّيخ مع طليعة الأرض، الأمر الذي تسبب بقذف مواد، أخذت شكل كرة تدور حول الأرض نفسها. وذلك خلافاً لفرضيات عديدة سابقة (انظر Bersani et al.,1984 ، الصفحة 97). وتضخمت هذه الكرة بضم مواد سديمية إليها حتى حققت حجم القمر. وظلت الفاعلية البركانية عنيفة وواسعة مدة مملياري سنة، وتلاشت هذه الفاعلية مع تبرد كرة القمر. ويُعدُّ قمر اليوم جرماً سماوياً غير فعال وهامداً، سطحه لا يتبدل بسبب التآكل أو نتيجة انزياح الصفائح التكتونية كما يحدث في الأرض. ولقد قُذف القمر طوال تاريخه بأعداد لا حصر لها من النيازك الضخمة المتفجرة، وأحدثت حفراً متباينة الأقطار والأعماق (يُرجع إلى الشكلين 3.33 و 3.34). ويتباين قطر هذه الفوهات الحفرية craters ما بين كيلومترات معدودة و 900 كيلو متر. وربما سببت بعض التصادمات الكبيرة استخراج كميات كبيرة من مواد العمق العميق إلى السطح.

ويبث لونار بروسبكتور معلومات عن البنية العميقة للقمر [21،22] وعلى ما يبدو، فإنَّ التصادم الشديد الذي سبب تشكل طليعة القمر ضَمَّنَ هذا الساتل كمية كبيرة من الحديد (ولكن ليس بالمقدار الذي يوجد في بنية الأرض، حيث يحوي القمر ثلث ما تحويه الأرض من الحديد، يرجع إلى الجدول 3.4). كما أنَّ دراسات الحقل المغنطيسي و قياسات انعكاسات الإلكترونات، تشير إلى أنَّ لقشرة القمر حقلاً مغنطيسياً قوياً نسبياً [23]، وذلك خلافاً لفرضيات عديدة سابقة. ويحمل لونار بروسبكتور أجهزة قياس أطياف أشعة غاما وجُسيمات ألفا والنترونات. ولقد أوضحت هذه القياسات تفاوت تراكيز كل من الحديد والتيتان والتوريوم والبوتاسيوم في قشرة القمر، وأمكن بالتالي وضع خرائط لتوزع هذه المعادن [24،25] وتوضح هذه الخرائط أنَّ الفوهات الحفرية الضخمة (التي يصل قطر الواحد منها إلى 900 كيلو متر، ويطلق عليها عادة ـ بسبب اتساع فوهاتها ـ اسم الأحواض) الموجودة في القطب الجنوبي للقمر، تختلف عن بقية سطح القمر الذي يتألف بصورة أساسية من مواد بازلتية بركانية المنشأ، ومن أنهر لحمم تصلبت منذ أكثر من مملياري عام. وتبين خرائط توزع الحديد والتيتان أنَّ هذا التوزع يتوافق مع المعطيات التي بثتها سواتل سابقة [26] وأخيراً، فإنَّ معطيات لونار بروسبكتور تشير إلى أنَّ غزارة الهدرجين[27] تمثل دليلاً واضحاً على احتواء قطبي القمر على كميات كبيرة من الجليد المائي، وبخاصة *في الحفر الموجودة في القطبين الشمالي والجنوبي.*

20 . Irion , R., Science **281**, 1423 - 1425 (1998).
21 . Binder , A. B., Science **281**, 1475 - 1476 (1998).
22 . Konoplive, A. S. et al.., Science **281**, 1476 - 1480 (1998).
23 . Lin, R. P. et al., Science **281**, 1480 - 1484 (1998).
24 . Lawrence, D. J. et al., Science **281**, 1484 - 1489 (1998).
25 . Feldman,w.c.et, Science 281, 1489 - 1493 (1998).
26 . Flphic, R.C. et al., Science 281, 1493 - 1496 (1998).
27 . Feldman , W. C. et al., Science 281, 1496 - 1500 (1998).



IV. المَرِّيخ

يمثل «المَرِّيخ» Mars (إلّه الحرب عند الرومان) الكوكب الرابع الأكثر بعداً عن الشمس وذلك ضمن مجموعة الكواكب الداخلية (يرجع إلى الجدول 3 .2). والمَرِّيخ، كعُطارد والزُهرة، لا يمتلك أي ساتل يدور في فلكه. ويُعَدُّ المريخ، ومنذ زمنٍ طويل، كوكباً أرضياً ثانياً، يتشابه مع الأرض بخصائص كثيرة. ولقد أثبتت الدراسات الحديثة صحة هذا الرأي (الشكلان 3 .36 و 3 .37). وبسبب من لونه، فإنَّ المريخ يعرف عادة بالكوكب الأحمر.

الشكل 3 .36. صورة بالألوان الطبيعية لجزء من كوكب المريخ، أخذت لدى اقتراب المركبة « فايكينج ـ Viking 1 » من الكوكب في 18 حزيران (يونيو) 1976 . ويتألف النصف الشمالي للكوكب من سهول فتية ، كما يحوي براكين وجبالاً تظهر بوضوح أكبر في الشكل التالي (3 .37) أمّا النصف الجنوبي ، فيتألف من بنى معمرة، ذات حفر كثيرة، ويتميز بوجود حوض « آرجير بلانيتيا » Argyre Planitia الضخم (يبلغ قطره 900 كيلومتر)، والذي يظهر بوضوح إلى الأسفل قليلاً من المركز ، ويمر به الخط الذي يقطع الصورة. ويظهر محيط الحوض واضحاً بسبب جليديات غاز ثاني أكسيد الكربون. وتمثل البقعة الضخمة العاتمة في استواء الصورة قسماً من وادي المريخ الضخم «فاليس مارينيريس» Valles Marinieris, الذي يبلغ طوله 5 000 كيلو متر (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 124) .



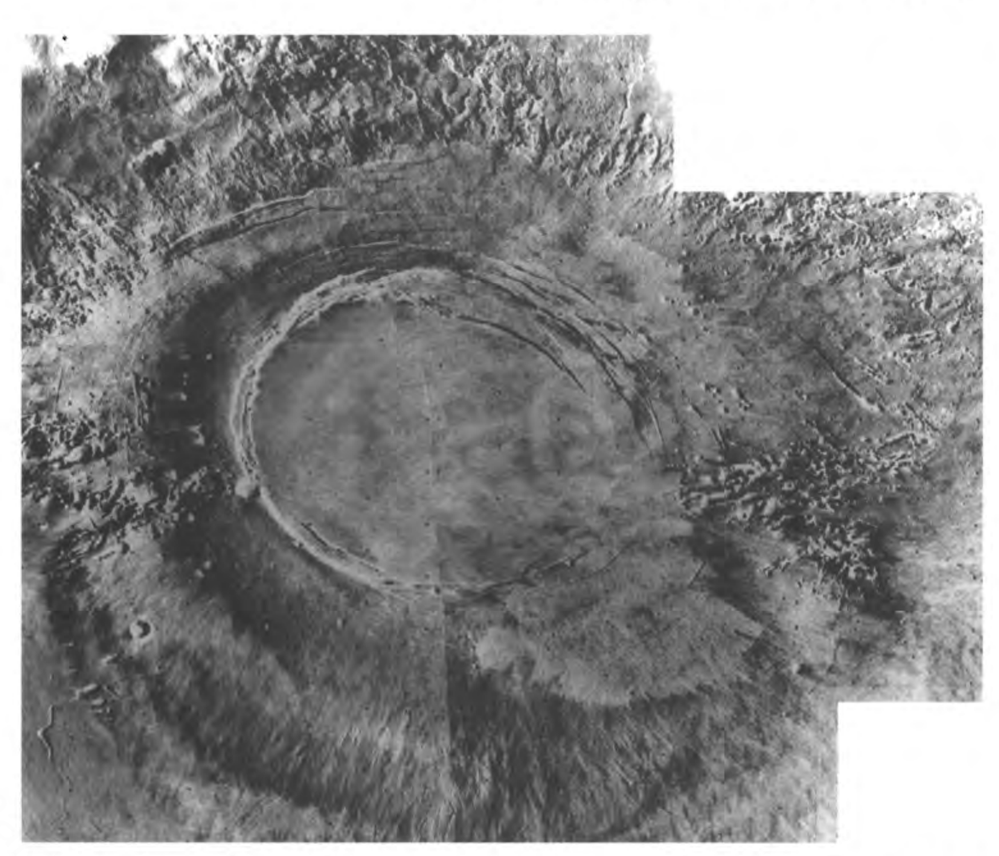
الشكل 3 . 37. صورة بالألوان الطبيعية لمعظم كوكب المريخ ، أخذت في 17 حزيران (يونيو) لدى اقتراب المركبة « فايكينج ـ I » من الكوكب . يبدو النصف الشمالي نيراً والنصف الجنوبي عاتماً . وتظهر في النصف الشمالي ست فوهات بركانية . أمَّا حوض « آرجير بلانيتيا » ، فيظهر في أقصى يمين الصورة إلى الأسفل قليلاً من استواء الكوكب (عن Bersani,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 124) .

لا يقل عن الكوكب الأحمر بين الكواكب الداخلية من حيث الكتلة سوى عُطارد ، وبلوتو وبين الكواكب الخارجية . وتقل كتلة المريخ (وهي 421 . 6 × 10^{23} كيلو غرام) 3 . 9 مرة عن كتلة الأرض . كما يقل قطره (الذي يبلغ عند الاستواء 796 6 كيلومتراً) عن قطر الأرض أقل بقليل من مرتين (879 . 1 مرة) . وعلى الرغم من أنَّ للمريخ نواة من الحديد والكبريت (كالأرض)، إلا أن ضآلة حجم هذه النواة وحجم الكوكب تجعل كثافة المريخ 3.94 وهذه تقل قرابة مرة ونصف (4 . 1 مرة) عن كثافة الأرض . ويستتبع ذلك أنَّ ثقالة الكوكب الأحمر تقل أكثر من مرتين ونصف (62 . 2 مرة) عن ثقالة الأرض . ويستتبع ذلك أيضاً أنَّ سرعة التحرر من سطح المريخ تقل مرتين وربع المرة تقريباً (24 . 2 مرة) عن سرعة التحرر من سطح الأرض . ويبعد المريخ وسطياً عن الشمس 9 . 227 مليون كيلومتراً، أي مرة ونصف تقريباً (52 . 1 مرة) أكثر من الأرض . وتبلغ مدة تدوير المريخ (تدويمه حول نفسه) مرة كل 623 . 24 ساعة، ومدة دورانه حول الشمس مرة كل 687 يوماً . أي إنَّ يوم المريخ يقارب يوم الأرض، في حين أنَّ عامه يزيد مرتين تقريباً (88 . 1 مرة) على عــام الأرض . وتبلغ نســبة الحديد في الكوكب الأحمر 25 في المئة، في حين أنَّ هذه النـــسبة تبلغ في ما يتعلق بالأرض (كما كنا عرضنا) 33 في المئة .

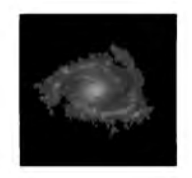
وتظهر على سطح المريخ فوهات بركانية (الشكلان 3 . 38 و 3 . 39) . ويبلغ قطر قاعدة أحد هذه البراكين [البركان «أوليمبوس مونس»(Olympus Mons) 600 كيلو متر ، وارتفاع فوهته 27 كيلومتراً (يُرجع إلى الشكل 3 . 38)] .



الشكل 3 . 38. صورة علوية جانبية لجزء من فوهة بركان « أو لومبيس مونس » Olympus Mons المريخي . ويبلغ قطر قاعدة البركان أكثر من 600 كيلومتر ، في حين يصل قطر الفوهة إلى قرابة 27 كيلومتراً . إن براكين المريخ كلها تقع في النصف الشمالي فقط ، أما النصف الجنوبي فيكون خالياً منها (عن Bersani,et al.,1983، المرجع 14 ، ص . 133) .



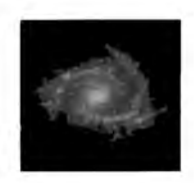
الشكل 3 . 39. صورة علوية لفوهة بركان « آرسيا مونس » Arsia Mons المريخي ، ويبلغ قطر « المرجل » قرابة 120 كيلومتراً، وله فوهة ضخمة جداً ، يظهر على خاصرتها اليسرى بوضوح مجرى الحمم البركانية (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 133) .





هذا، ويمكن (من أجل تفصيلات معمقة) الرجوع إلى المرجع 14، الذي أشرنا إليه غير مرة. فلقد استقينا من هذا الأطلس معظم المعلومات الواردة في هذا الكتاب والمتعلقة بالمجرات وبكواكب المجموعة الشمسية، كما اقتبسنا منه الأشكال المرافقة للنص. ويوضح الشكل 3 . 40 بعض الكويكبات asteroids، astéroïdes التي تدور في فلك المريخ، حيث يوجد بين الكوكب الأحمر والمشتري آلاف منها. ويعرف كل كويكب باسم خاص به. ويبلغ قطر أضخمها (ويدعى سيريس ceres، cérès) 025 1 كيلومتراً، وقطر أصغرها («يونومي» Eunomie) 261 كيلومتراً.

الشكل 3 . 40. تمثيل ترسيمي لثلاثة وثلاثين كويكباً مع بعض خصائصها الفيزيائية. أبعاد أكبرها حجماً تزيد على 200 كيلومتر. (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 153).



ويعتقد حالياً أنَّ أصل هذه الكويكبات يرجع إلى أجسام فلكية (شأنها شأن كواكب المنظومة الشمسية)، نشأت (كما سبق أن عرضنا) نتيجة التصادمات بين المجرات فيما بينها، أو بين المجرات والنجوم، أو بين النجوم بعضها ببعض. ولقد توقف نمو هذه الكويكبات وتضخمها في مرحلة مبكرة بسبب الاضطراب الثقالي الذي أحدثته ولادة المُشتري، فلم تتمكن هذا الأجسام من بلوغ الحجوم التي وصلت إليها الكواكب الخارجية (عُطارد والزُهرة والأرض والمَرِّيخ). وبناء على ذلك، فإنَّ هذه الكويكبات تمثل الشواهد الوحيدة المتبقية لآلاف الأجسام الفلكية التي اندمج القسم الأعظم منها بعضه ببعض (بظاهرة التضخم المتنامي)، ليعطي الكواكب الخارجية الأربعة للمنظومة الشمسية.

V. المُشتري

يُعَدُّ «المُشتري» Jupiter (إلّه الآلهة عند الرومان) الكوكب الأول بين الكواكب الخارجية من المنظومة الشمسية، ويطلق عليه أحياناً لقب سيد كواكب المنظومة الشمسية بالنظر إلى ضخامة كتلته (الشكل 3. 41). ويختلف المُشتري عن الكواكب الخارجية للمنظومة الشمسية (التي تمتلك كلها قشرة صلبة) في أنَّه يتألف (كالشمس وبقية النجوم) من كتلة هائلة من غازي الهدرجين والهليوم. وللمشتري قشرة غازية يبلغ ثخنها 000 2 كيلومتر (ويبلغ قطر المشتري 900 71 كيلومتر).

الشكل 41.3 (الشرح في الصفحة التالية)



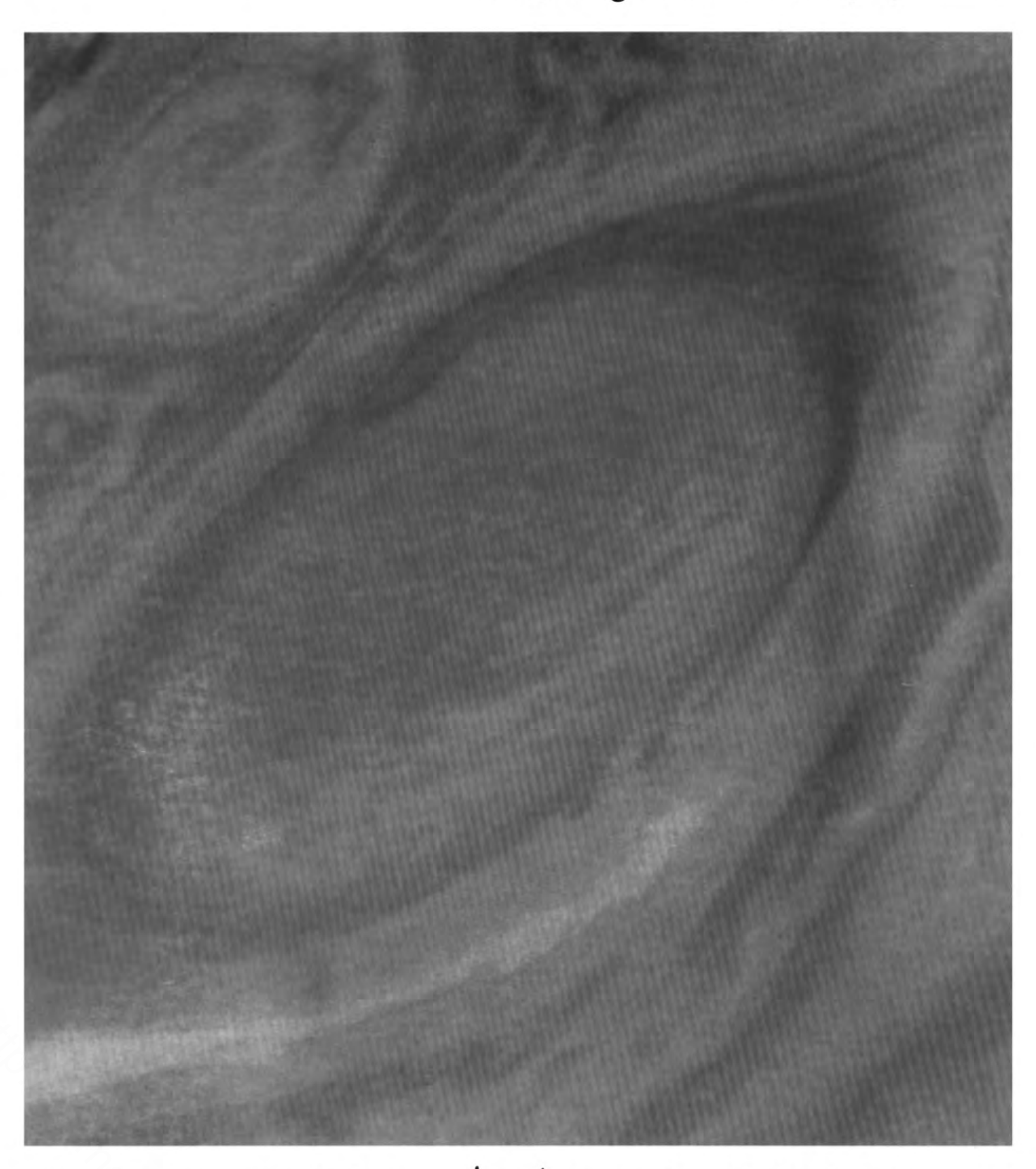
الشكل 3 . 41. صورة بالألوان الطبيعية للمُشتري (سيد الكواكب) . أُخذت هذه الصورة في 1 شباط (فبراير) 1979 من قبل المركبة الفضائية « فواياجير ـ 1 » وهي على بعد 30 مليون كيلومتر من الكوكب . تظهر الصورة بوضوح العصائب المتوازية مع الاستواء . وتمثل هذه العصائب طبقات السحب التي تتوضع في جو المشتري وعلى مسافات متباينة من الكوكب ، وقد يكون التركيب الكيميائي مختلفاً بين عَصابة وأخرى (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 158) .

وكما يتضح من الجدول 3 . 2 فإنَّ كتلة المُشتري (899 . 1 × 10^{27} كيلوغرام) تفوق 893 . 317 مرة كتلة الأرض. ويزيد قطر المشتري (900 71 كيلومتر) على قطر الأرض مقدار 27 . 11 مرة. وبالنظر إلى أنَّ المُشتري غازي البنية، فإنَّ كثافته تقل أكثر بقليل عن أربع مرات (2 . 4 مرة) عن كثافة الأرض. وتفوق ثقالة المُشتري في خط الاستواء ثقالة الأرض قرابة مرتين وثلث المرة (339 . 2 مرة). ولهذا، فإنَّ سرعة التحرر من سطح المُشتري تفوق مثيلتها للأرض بمقدار 3 . 5 مرة. ويدور الكوكب حول نفسه مرة كل 841 . 9 ساعة، فيومه أقصر من يوم الأرض مقدار 43 . 2 مرة. أمَّا مدة دورانه حول الشمس (أي عام المشتري)، فتزيد على مثيلتها للأرض مقدار 86 . 11 مرة. وبدهي أنَّ قصر مدة تدوير المُشتري (تدويمه حول نفسه)، وطول مدة دورانه حول الشمس، يرجعان بصورة أساسية إلى بعد هذا الكوكب عن الشمس، حيث تبلغ المسافة بينهما 3 . 778 مليون كيلومتر، وتفوق هذه المسافة مثيلتها للأرض مقدار 2 . 5 مرة.

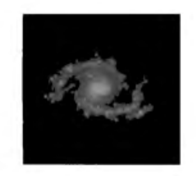
وتبلغ درجة حرارة الطبقات العالية جداً من جو المُشتري (الذي يبلغ ضغطه جزءاً من مليون من الضغط الجوي الأرضي) قرابة 500 1 كلفن أو درجة مطلقة. أمَّا الطبقات الأقل علواً فتكون أدنى حرارة، وتهبط إلى 370 كلفن. ويتألف هذا الجو من 90 في المئة من الهدرجين الغازي، ومن 10 في المئة تقريباً من الهليوم، ومن آثار من الميتان CH_4 والأسيتيلين C_2H_2 والإيتان C_6H_2 والإيتيلين C_2H_4 والبنزين C_6H_6. ويصل الضغط الجوي على مسافة مئة ألف كيلومتر من سطح كرة المُشتري إلى مليوني جو، وتصل درجة الحرارة إلى 000 10 كلفن. أمَّا على بعد 000 57 كيلو متر من سطح كرة المُشتري، فيبلغ الضغط الجوي 45 مليون جو، وتصل درجة الحرارة إلى 000 20 كلفن. هذا، وتتميز كرة المُشتري ببقعة بيضاء وأخرى حمراء تظهران في الشكلين 3 . 42 و 3 . 43. ويدور في فلك كوكب المُشتري 16 ساتلاً (الشكلان 3 . 44 و 3 . 45). ويبلغ قطر أكبر ساتل بين هذه السواتل (وهو الساتل جانيمد Ganymede، Ganymède) 276 5 كيلو متراً، أي أضخم من القمر بمرة ونصف تقريباً. وتبلغ كتلة الساتل «جانيمد» 49 . 1 × 10^{23} كيلوغرام،

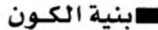
الشكل 42.3 (الشرح في الصفحة التالية)

الشكل 3 . 42. صورة بالألوان الطبيعية للبقعة البيضاء على سطح المُشتري، أُخذت من قبل المركبة الفضـــائية «فواياجير ـ 1» وهي على بعد من الكوكب يقل عن مليون كيلومتر . ويبلغ القطر الكبير للبقعة قرابة 000 25 كيلو متر ، وتمثل عاصفة من نمط الإعصـــــار (الزوبعة) المعاكـــــــــس (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 163) .

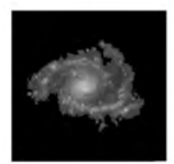


الشكل 3 . 43. صورة بالألوان الطبيعية للبقعة الحمراء على سطح المُشتري، أُخذت من قبل المركبة الفضائية «فواياجير ـ 2» وهي على بعد من الكوكب يقل عن مليون كيلومتر . وكما هي الحال في ما يتعلق بالبقعة البيضاء، فإن البقعة الحمراء تمثل عاصــفة من نمط الإعصـــار المعاكـــس (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 163) .

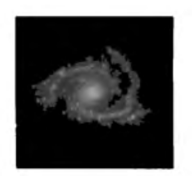




الشكل 3 . 44. صورة مُركَّبة بالألوان الطبيعية للسواتل الغاليلية (نسبة إلى غاليلي) الأربعة التي تدور حول المُشتري ، أُخذت من قبل المركبتين الفضائيتين «فواياجير ـ1 و 2 » . ولقد صُغِّرت صور السواتل الأربعة بالنسبة نفسها الخاصة بصورة المُشتري (التي يظهر جزء منها في يسار الشكل) . إن للساتل « أوروب » حجماً يقل عن حجم القمر ، في حين أن حجم الساتل «إيو» يفوق حجم القمر . أمَّا حجم أكبرها (وهو الساتل «جيناميد») ، فيفوق قليلاً حجم عُطارد ، بينما يقل حجم « كاستلو » عن حجم هذا الكوكب الداخلي . ويرجع تباين ألوان هذه السواتل إلى الطبيعة الكيميائية للمركبات التي تدخل في قشرة كل منها (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص . 170) .



الشكل 45.3-أ. منظر رائع بالألوان الطبيعية للمشتري وللساتلين«إيو» و «أوروب » ، أُخذ من قبل المركبة الفضائية «فواياجير ـ 1» في 13 شباط (فبراير) 1979 ، وكانت على بعد 20 مليون كيلومتر من الكوكب العملاق . تظهر هذه الصورة نسبة حجم « إيو» (الأيسر) إلى « أوروب » (الأيمن) ، ويقارب هذا الحجم حجم القمر نسبة إلى حجم المُشتري الذي يفوق 11.2 مرة حجم الأرض (أو 67.2 مرة حجم القمر) . وبسبب من كبر المسافة التي تفصل المركبة عن الكوكب ، فإن الساتلين يظهران وكأنهما قريبان جداً من سطح المشتري. أمَّا في الواقع ، فإن « إيو» يقع على مسافة 350 000 كيلومتر من البقعة الحمراء الكبرى ، و « أوروب » على مسافة 600 000 كيلومتر من سحب المُشتري . وتجدر الإشارة إلى أن قطر البقعة الحمراء الكبرى يفوق القطر الكبير للأرض (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 171) .



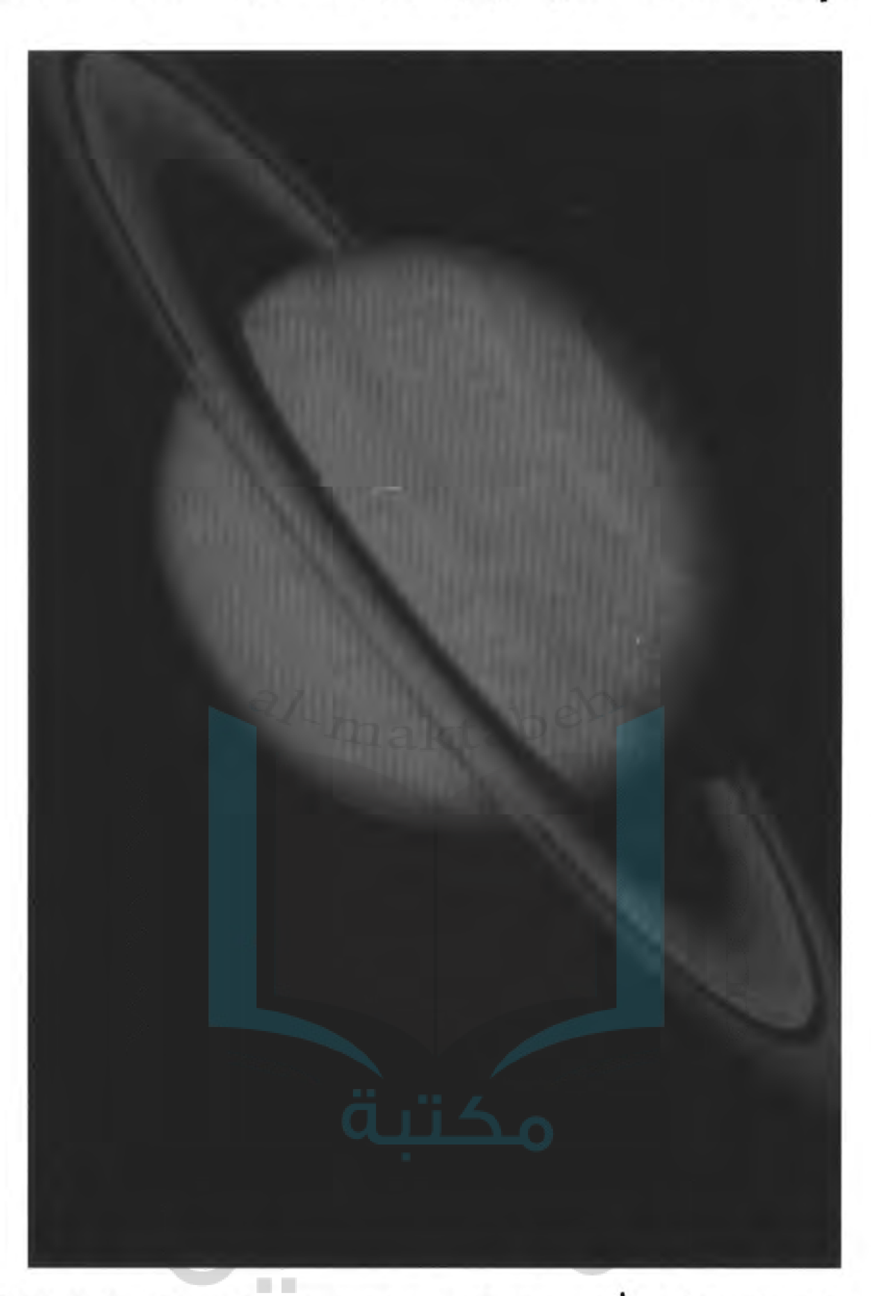
الشكل 3-45- ب. صورة بالألوان الطبيعية للمشتري ولسائله إيو [عن «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **16** العددان **7** و**8** يوليو -أغسطس (تموز - آب)، ص22-44 (2000)].

أي أثقل من القمر بمرتين. أمَّا كثافته فتبلغ (بسبب بنيته الغازية) 93. 1 غراماً للسنتي متر المكعب، أي أقل من كثافة القمر بمرتين تقريباً (93. 1 مرة). أمَّا أصغر هذه السواتل الستة عشر فهو الساتل ليدا Leda، Léda الذي يعتقد أنَّ قطره يبلغ 10 كيلومترات. أمَّا كتلته وكثافته فما تزالان مجهولتين.



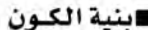
VI. زُحَل

يمثل «زُحَل» Saturne (إله الزراعة عند الرومان، وسماه العرب زُحلاً كما ورد في «لسان العرب» لأنَّه زَحَلَ، أي بَعُدَ) الكوكب الثاني بين الكواكب الخارجية. ومع أنَّ لزُحل شكلاً كروياً وسمات أخرى تجعله يشبه كوكب المُشــتري، فإنَّ الحلقة المركبة التي تحيط به تجعله يختلف عن كــواكب المجموعة الشــمسية كــافةً (الشــكلان 3 . 46 و 3 . 47).



الشكل 3 . 46. صورة بالألوان الطبيعية لزُحل ، أُخذت من قبل المركبة الفضائية « فواياجير ـ 2 » في 20 تموز (يوليو) 1981 من مسافة 7 . 34 مليون كيلومتر . وتوضح هذه الصورة الحلقة وشق « كاسيني » Cassini (الدائرة السوداء) الذي يقسم الحلقة إلى قسمين . كما يمكن ملاحظة البنية العصائبية للكوكب ، حيث توازي هذه العصائب خط الاستواء (يمكن الرجوع إلى المرجع 14 ، الصفحتان 46 و 47 لتثمين صورة الكوكب وحلقته اللتين تثيران الإعجاب) (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 184) .







الشـــكل 3 . 47. صورة بالألوان الطبيعية لزُحل ، أُخذت من قبل المـــركبة الفضائية « فوايـــاجير ـ1 » في 11 تشـــرين الثاني (نـوفمبر) 1980 مـن مسافة 1.75 مليون كيلومتر . تشير الأرقـام عـلى اليمين إلى خـطـوط الـعرض . وتظهر الحلقة مباشرة تحت الاســـتواء ، وبسبب من المســـافة التي أخذت منها الصـــورة ، فإن الحـلقة تـبـدو وكـأنها جـزء من الكـوكب (عـن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 185).

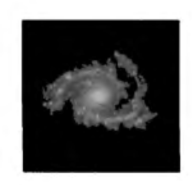
وتتألف هذه الحلقة المركبة من عشرين حلقة فرعية، لها (كبقية الكوكب) بنية غازية سديمية. وكما هي الحال في كوكب المشتري، فإنَّ زُحَل قد تشكل من غيوم سديمية تتألف في غالبية تركيبها من الهدرجين (وسطياً 90 في المئة)، ومن الهليوم (قرابة 9 في المئة)، ونسبة ضئيلة جداً من غازات أخرى ذات كميات أثرية. وكما يتضح من الجدول 3 . 2 فإنَّ كتلة زُحَل (5.686×10^{26} كيلوغرام) تفوق كتلة الأرض بمقدار 147 . 95 مرة، وتقل عن كوكب المُشتري مقدار 34 . 3 مرة. ويفوق نصف قطر زُحل عند الاستواء قرابة 4 . 9 مرة نصف قطر الأرض، ويقل عن نصف قطر المُشتري بمقدار 183 . 1 مرة. وبالنظر إلى بنيته الغازية (كما هي الحال في ما يتعلق بالمُشتري)، فإنَّ كثافة زُحل تبلغ 69 . 0 غراماً للسنتي متر المكعب، وتقل عن كثافة الأرض مقدار ثماني مرات، وعن كثافة المُشتري بمقدار 9 . 1 مرة (ذلك أنَّ معظم كتلة هذا الكوكب تتألف من الهدرجين). أمّا في ما يتعلق بثقالة زُحَل، فتبلغ في الاستواء 05 . 9 متراً في مربع مربع الثانية، فهي قريبة من ثقالة الأرض (ذلك أنَّ فرق الكتلة تعوضه الكثافة). وتقل هذه الثقالة 528 . 2 مرة عن ثقالة المشتري. وتبلغ سرعة التحرر من سطح زُحل 6 . 35 متراً في الثانية. وتفوق هذه السرعة ما يماثلها في الأرض 178 . 3 مرة، وتقل عن سرعة التحرر من سطح المشتري مقدار 67 . 1 مرة تقريباً. ويبعد زُحل وسطياً عن الشمس مسافة 427 1 مليون كيلو متر، وهذه المسافة تفوق بعد الأرض عن الشمس مقدار 538 . 9 مرة، وبُعد المُشتري عن الشمس مقدار 833 . 1 مرة. وبسبب هذه المســـافة، فإنَّ مدة تدوير (يوم) زُحل حـــول نفســـه تبلغ 233 . 10 ســـاعة، كما أنه يدور حول الشـــمس مرة كـــل 759 10يوماً، أي إن يوم زُحل أقل من نصف يوم الأرض (تفوق مدة يوم الأرض 345 . 2 مرة يومَ زُحل)، في حين أنَّ عام زُحل يفوق مقدار 47 . 29 مرة عام الأرض.

ويتألف زحل من طبقة خارجية، يشكل الهدرجين الجزيئي فيها 94 في المئة، والهليوم 6 في المئة. وتبلغ درجة حرارة هذه الطبقة السديمية 140 كلفن، وضغطها قرابة 1 جو(1 بار، يرجع إلى الحاشية 3. 11). ويقدر ثخن هذه الطبقة قرابة 30 ألف كيلو متر (أي نصف المسافة بين السطح الخارجي ومركز الكوكب). أمَّا بعد هذا العمق، فإنَّ الهدرجين يصبح ذرياً، وترتفع درجة الحرارة إلى 000 8 كلفن، ويتزايد الضغط باتجاه العمق ليصل إلى مليوني جو. ويتراوح ثخن الطبقة المتوسطة (التي تلي مباشرة الطبقة الخارجية) ما بين 15 و 17 ألف كيلو متر. وتعد هذه المنطقة منطقة تشكل قطيرات الهليوم الذي يصبح في طور انتقالي بين الغاز والسائل. أمَّا نواة زُحل، فيبلغ نصف قطرها 15 ألف كيلومتر، وتتألف أساساً من السيليكات ومركبات معدنية أخرى ومن الجليد. وتبلغ درجة حرارة القسم الخارجي من هذه النواة 000 14 كلفن، ويصل الضغط فيه إلى عشرة ملايين جو.

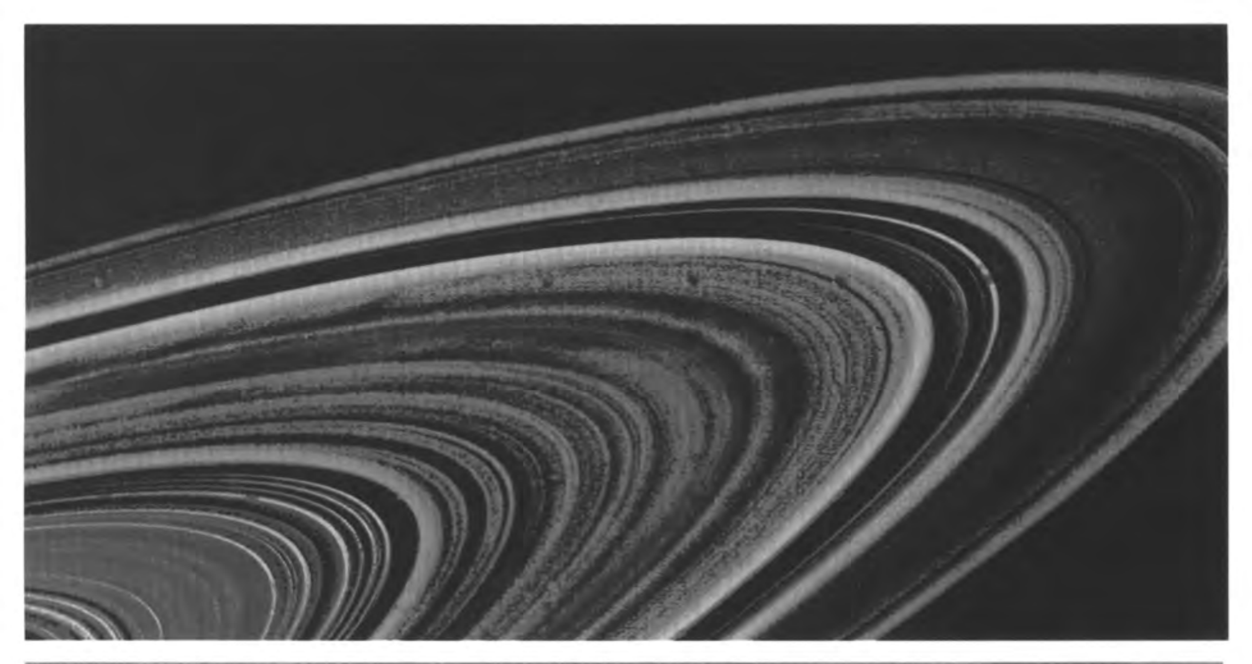
وكما هي الحال في جو المُشتري، فإنَّ الغلاف الخارجي لزُحل يحوي مزيجاً من الغازات العضوية وذلك إضافة إلى الهدرجين والهليوم. ويعتقد أنَّ هذه المركبات العضوية قد نشأت نتيجة تفكك الميتان بتأثير الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس. ونعثر في هذا المزيج الغازي (كما هي الحال في المُشتري) على الإسيتيلين (C_2H_2)، والإيتان (C_2H_6)، والبروبان (C_3H_8)، والفسفين (PH_3)، وربما غازات أخرى (إنما بتراكيز أقل)، كإستيلين الميتيل (C_3H_4).

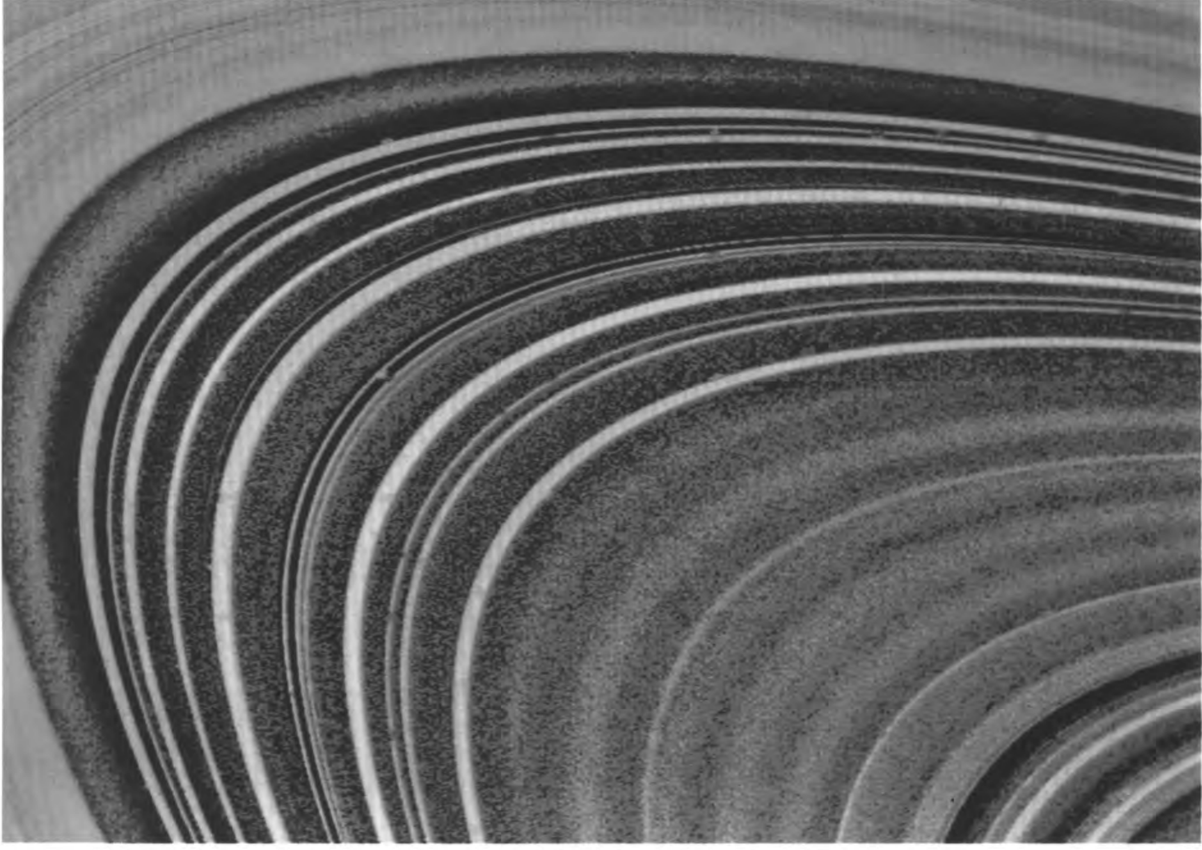
أمَّا في ما يتعلق بحلقة زُحل، فإنها تتألف من قرابة عشرين حلقة فرعية، يتوضع بعضها فوق بعض، ولكل حلقة مجموعة من الأطياف المميزة ذات شدّات لمعانية متباينة (الشكل 3. 48). ويبلغ ثخن طبقات حلقة زُحل خلابة المنظر والشكل 234 ألف كيلو متر، أي قرابة أربعة أضعاف نصف قطر الكوكب نفسه. ولقد اكتشفت هذه الحلقة المركبة (التي تُعَدُّ أجمل ما يمكن أن يُرى في السماء بوساطة منظار بسيط جداً) لأول مرة من قبل «غاليلي» عام 1610. وتتألف هذه الحلقة ذات الطبقات المنتظمة من جسيمات، تشكل أجسام الحلقات الفرعية. ولقد اتضح أن الحلقات الفرعية تدور حول زحل على نحو تفاضلي، أي إن لكل حلقة سرعة دوران خاصة بها. فالحلقة الأقرب إلى زحل تدور مرة واحدة حول الكوكب كل 7 ساعات و 46 دقيقة (أي أسرع بساعتين ونصف تقريباً من تدوير الكوكب نفسه)، في حين أنَّ أبعد حلقة عن الكوكب تدور حوله مرة واحدة كل 14 ساعة و 27 دقيقة. وبالإضافة إلى أنَّ شكل حلقة زُحل المركبة، واللمعان التفاضلي لأطياف الحلقات الجزئية المطبق بعضها فوق بعض، يُعدَّان أجمل منظر في السماء على الإطلاق، فلقد كان يظن أنَّ وجود هذه الحلقات يقتصر على هذا الكوكب فقط، إلى أن تم في عام 1977 اكتشاف وجود حلقة حول أورانوس، وأخرى اكتشفت عام 1979 حول المشتري، مما جعل الفلكيين يدركون أنَّ ظاهرة تشكل الحلقات هي سيرورة طبيعية، تتناول الكواكب العملاقة كافة.

ومع أنَّ فلكيين كباراً (بدءاً من «غاليلي» الذي اكتشف عام 1610 الكوكب وحلقته، مروراً بـ «بوانكاريه»، و«لابلاس»، و«مكسويل» وغيرهم) حاولوا فهم الأسباب وراء (أو آلية) تشكل حلقة زُحل، إلا أن التفسير الصحيح لم يأت إلاَّ مؤخراً. ويمكن تلخيص هذه الآلية على النحو التالي: إنَّ قوة المد الصادرة عن كوكب ما تزيد كتلته عن عتبة دنيا، تكون بالقرب من الكوكب على درجة من القوة، بحيث تحطم (أو تكسر) كل جسم تتجاوز كتلته حداً معيناً، ويقع في مدى هذه القوة. إنَّ قوى التصادم بين الجُسيمات الناتجة عن هذا التحطم تقسر هذه الجُسيمات على الانتظام في حلقة تتشكل حول استواء الكوكب. فإذا ما اعتبرنا ساتلاً ما يدور حول كوكب معين، فإنَّ كل نقطة من نقاط جسم الساتل









الشكل 3 . 48. صورتان تركيبيتان لحلقة زُحل ، أُخذتا من قبل المركبة الفضائية «فواياجير ـ 2» ، العلوية منها في 17 آب (أغسطس) 1981 من مسافة 9 . 8 مليون كيلومتر ، والسفلية في 23 من الشهر والعام نفسيهما من مسافة 7 . 2 مليون كيلومتر باستعمال مرشحات للأشعة فوق البنفسجية والخضراء والبرتقالية . إن تباين الألوان وتعددها يرجع إلى الاختلاف في الطبيعة الكيميائية لطبقات الحلقة (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 193)



ستكون خاضعة لقوة جذب من قبل الكوكب، وتكون هذه القوة متناسبة تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بين الكوكب والنقطة المعنية. وهكذا، فإنّ كل نقطة من نقاط جسم الساتل، وبسبب التغير المستمر لموقعها نتيجة دورانها حول الكوكب، ستخضع لقوى متباينة الشدة ومختلفة أيضاً عن القوى التي تخضع لها النقاط المجاورة. فإذا ما قابلنا قوى هذا الجذب الثقالي التفاضلي التي يمارسها الكوكب على النقاط المختلفة للساتل (والذي يتباين تبايناً ضئيلاً في الزمن والمكان) بقوى الجذب الثقالي الخاص بالساتل نفسه(قوى الجذب الثقالي لنقاط الساتل فيما بينها)، مضافاً إليها قوى التلاصق التي تربط جزيئات مادة الساتل بعضها ببعض، يمكننا أن نبرهن على وجود حد مكاني حول الكوكب يتحطم انطلاقاً منه كل جسم يقع في هذا المدار إلى قطع، يتراوح قطرها بين بضعة مكرونات وبضعة كيلومترات، وتؤسر هذه القطع في حلقات، تتشكل حول استواء الكوكب، لتدور في نطاقه دوراناً سرمدياً. ويمكن التأكيد (بناء على الدراسات التي أُجريت في الثمانينات) أنّ كل جسم يبعد عن مركز زُحل أقل من 140 ألف كيلو متر، سيتحطم إلى قطع تتباين حجومها (كما عرضنا منذ قليل) مليار مرة.

ويمكن القول (وفقاً للدراسات نفسها) إنه لو كانت المسافة التي تفصل بين الأرض والقمر أقل من 18 ألف كيلومتر (وليس 400 ألف كيلو متر) لتحطم القمر إلى قطعٍ، أبعاد الواحدة منها من رتبة الكيلومتر. ويعرف الحد الذي تتحطم دونه الأجسام (السواتل) التي تدور حول كوكبٍ ما بحد «روش» Roche، نسبة إلى الرياضي الفرنسي «إدوارد روش» Edouard Roche، الذي عين هذا الحد رياضياً عام 1850.

وكما هي الحال في ما يتعلق بكوكب المُشتري، فإنّ زُحل يمتلك سبعة عشر ساتلاً. إنّ أضخم هذه السواتل هو الساتل تيتان Titan (وتعني الجبار، أحد أفراد أسرة الجبابرة التي حكمت في الأسطورة العالم قبل آلهة الأولمب، الشكل 3. 49).



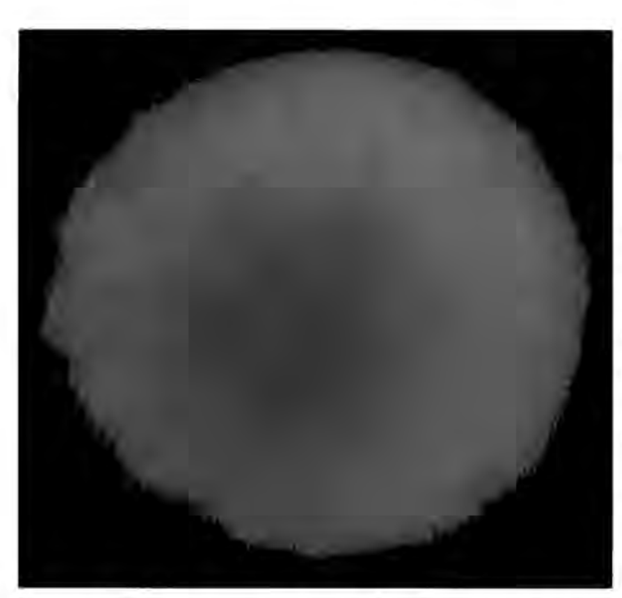
الشكل 3. 49. صورة بالألوان الطبيعية لـ «تيتان» Titan، أضخم سواتل زُحل الثمانية، ويقارب حجمه حجم الأرض. أُخذت هذه الصورة في 23 آب (أغسطس) 1981 من قبل المركبة الفضائية «فواياجير ـ 2» من مسافة 3،2 مليون كيلومتر. وتبين هذه الصورة أن النصف الشمالي (الأعلى) أكثر احمراراً من القطب الجنوبي. كما يظهر في ذروة القطب الشمالي وفي خط العرض 70 طوق أحمر داكن. ويدل احمرار النصف الشمالي ووجود الطوق على أن تدوير الساتل «تيتان» يوازي تدوير الكوكب الأم زُحل (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 204).



ويبلغ قطر تيتان 150 5 كيلومتراً، ويفوق هذا القطر مقدار 48 . 1 مرة قطر القمر. وتبلغ كتلته 359 . 1 × 10^{23} كيلوغرام. وتفوق هذه الكتلة مقدار 845 . 1 كتلة القمر. وبالنظر إلى بنيته الغازية، فإنَّ كثافة تيتان تبلغ 9 . 1 غراماً للسنتي متر المكعب، وتقل هذه الكثافة عن كثافة القمر مقدار 75 . 1 مرة تقريباً. أمَّا أصغر هذه السواتل فهو الساتل أطلس Atlas (في الأسطورة جبار أو نصف إله، أُجبر على حمل السماء على كتفيه)، الذي يظن بأنَّ قطره يتراوح ما بين 20 و 40 كيلو متراً فقط.

VII.أورانوس

يُعَدُّ «أورانوس» Uranus (أحد آلهة اليونان) الكوكب السابع في ما يتعلق ببعده عن الشمس، والثالث بين الكواكب الخارجية للمنظومة الشمسية (الشكل 3 . 50). وكما يتضح من الجدول 3 . 2 فإنَّ كتلة أورانوس تفوق 54 . 14 مرة كتلة الأرض (تبلغ هذه الكتلة 66 . 8 × 10^{25} كيلو غرام). ويبلغ قطر أورانوس عند الاستواء مقدار 290 52 كيلومتراً، أي يفوق قطر الأرض بمقدار 10 . 4 مرة. وبسبب من بنيته الغازية، فإنَّ الكثافة الوسطية لأورانوس تبلغ 19 . 1 غراماً للسنتي متر المكعب، أي أقل بمقدار 64 . 4 مرة تقريباً من كثافة الأرض. وتبلغ الثقالة في استواء أورانوس 77 . 7 متراً في مربع مربع الثانية، أي أقل بمقدار 26 . 1 مرة فقط من ثقالة الأرض. أمَّا سرعة التحرر من سطح أورانوس، فتبلغ 22 . 21 كيلو متراً في الثانية، فتفوق تقريباً مرتين (89 . 1) سرعة التحرر من سطح الأرض. ويبعد أورانوس وسطياً عن الشمس مقدار 2869.6 مليون كيلومتر، أي يفوق الأرض بُعْداً مقدار 20 مرة تقريباً (18 . 19 مرة). وبناء على ذلك، فإنَّ يوم أورانوس (مدة تدويره أو تدويمه حول نفسه) يبلغ 5 . 15 ساعة، في حين أنَّ مدة دورانه حول الشمس (أي عامه) فتبلغ 685 30 يوماً، أو قرابة 84 (999 . 83) عاماً.



الشكل 3 . 50. أفضل صورة أُخذت لأورانوس حتى مطلع الثمانينات من القرن الماضي، وقام بالتصوير مرصد «كاتالينا» في أريزونا بالولايات المتحدة، واستعمل مقراباً قطر عدسته 54 . 1 متراً، واستعملت مرشحة تسمح فقط بمرور الضوء الذي يقع في بداية طيف الأشعة تحت الحمراء (يبلغ طول الموجة 890 نانومتراً، حيث يمتص غاز الميتان هذه الموجة بشره شديد) (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 206)

وكما يتضح من الشكل 3 . 50 فإنَّ أورانوس ضعيف التوهج، ويقل توهجه عن توهج المُشتري بمقدار ألفي مرة. إنَّ ضعف هذا التوهج، وبُعد الكوكب عن الشمس، جعلت الزُهرة وحلقتها تحتجبان عن رؤية الفلكيين الذين كانوا يعتقدون أنَّ الزُهرة هي الكوكب الأبعد عن الشمس. ولقد تم في 13 آذار (مارس) عام 1781 اكتشاف أورانوس لأول مرة من قبل الموسيقي البريطاني «ويليام هرشل» William Herschel (1738-1822)، الذي كان فلكياً بالهواية، واكتشف أيضاً عام 1787 ساتلين من سواتل هذا الكوكب، ثم اكتشف في عام 1789 ساتلين من سواتل الزُهرة. وكما هي الحال في ما يتعلق بالكواكب الأخرى العملاقة، فإنَّ أورانوس، يتألف من 99 في المئة من مادته من الهدرجين، ويمتلك مجموعة من السواتل يبلغ عددها خمسة. أمَّا درجة حرارة سطح أورانوس، فتبلغ 50 كِلفن أو درجة مطلقة. وتبين الدراسات أن الكوكب يحوي

هدرجيناً ذرياً (H)، وهدرجيناً جزيئياً (H_2)، وكذلك الميتان (CH_4). وكما هي الحال في ما يتعلق بالكواكب والنجوم كافةً، فإنَّ درجة الحرارة تتزايد من السطح باتجاه المركز. وهكذا، فإنَّ درجة حرارة قلب أورانوس تصل إلى سبعة آلاف كلفن. ويحيط بأورانوس جو ثخين من الهدرجين والهليوم، يشكل طبقته الخارجية التي تشاهد من الأرض. ويلي هذه الطبقة الخارجية غلاف يتألف في معظمه من جليد الماء، ومن الميتان والنشادر (الأمونياك). أمَّا مركز الكوكب، فيتمثل بنواة صلبة أو سائلة شديدة السخونة، وتتألف أساساً من أملاح السيليسيوم ومن الحديد (وهذه البنية عامة تقريباً في ما يتعلق بالنجوم والكوكب، ذلك أنَّ الحديد على وجه التخصيص ينهي بسبب الثبات الشديد لنواته سلسلة الاندماجات النووية بدءاً من الدوتريوم (أو الهدرجين الثقيل)، والهليوم.

وكما كنا أشرنا في معرض الحديث عن حلقة زُحل، فإنَّ وجود الحلقات لم يعد خاصة ينفرد بها هذا الكوكب. ويُعَدُّ اكتشاف حلقة حول أورانوس في 10 آذار (مارس) عام 1977، ثم في خلال أقل من عامين، اكتشاف حلقة حول المُشتري، من الاكتشافات الفلكية المهمة التي جعلت أمر تشكل الحلقات حول الكواكب العملاقة ظاهرة طبيعية. وتحيط بأورانوس تسع حلقات، تتوضع في المسافة التي تقع ما بين 42 و 52 ألف كيلو متر من مركز الكوكب. ويبلغ محيط الحلقة الواحدة 250 ألف كيلومتر، وتعد الحلقات رقيقة إذا ما قورنت بحلقات زُحل.

وتدور في فلك أورانوس خمسة سواتل. ويطلق على أضخمها اسم «أوبيرون» Oberon، Obéron، ويبلغ قطره 1 600 كيلو متر (أي أقل من قطر القمر بمقدار 2.17 مرة). وتبلغ كتلة أوبيرون 2.9×10^{21} كيلو غرام، أي أصغر من كتلة القمر مقدار 25.4 مرة. أمَّا كثافة هذا الساتل، فهي (مثل كثافة بقية سواتل أورانوس) 1.3 غراماً للسنتي متر المكعب، وتقل (بسبب البنية الغازية) 2.56 مرة عن كثافة القمر. أمَّا أصغر ساتل يدور حول أورانوس فهو الساتل«ميراندا» Miranda الذي له قطر يساوي 300 كيلو متر، وكتلة تساوي 1.7×10^{19} كيلو غرام، أي أقل من كتلة القمر مقدار 4 333 مرة. أمَّا كثافته فتساوي كثافة بقية سواتل أورانوس، أي 1.3 غراماً للسنتي متر المكعب.

VIII. نبتون

يمثل «نبتون» Neptune (إلّه البحر عند الرومان) الكوكب الرابع بين الكواكب الخارجية، والثامن بُعداً عن الشمس بين كواكب المنظومة الشمسية (الشكل 3.51). ومع أنَّ هذا الكوكب اكتشف رسمياً عام 1843، فإنَّ خرائط «غاليلي» للسماء تبين وجوده على مقربة من المُشتري. ولقد ظنه آنذاك »غاليلي« مجرد نجم في السماء، وكان قد شاهده مرتين: في 28 كانون الأول (ديسمبر) عام 1612 وفي 22 كانون الثاني (يناير) عام 1613 (أي خلال 25 يوماً) وذلك في أثناء مراقبته المُشتري.

وكما يتضح من الجدول 2.3 فإنَّ كتلة نبتون تبلغ 1.030×10^{26} كيلو غرام، أي تفوق كتلة الأرض مقدار 17.23 مرة. ويبلغ قطر هذا الكوكب 49 500 كيلومتر، ويفوق هذا القطر قطر الأرض مقدار 3.88مرة. أمَّا الكثافة الوسطية لنبتون، فتبلغ 1.66 غراماً للسنتي متر المكعب، وتقل هذه الكثافة مقدار 3.32 مرة عن كتلة الأرض، ويرجع ذلك إلى البنية الغازية لنبتون. أمَّا ثقالة هذا الكوكب في الاستواء، فتبلغ 11.0 متراً في مربع مربع الثانية، وهذه تفوق ثقالة الأرض مقدار 1.124 مرة. وتبلغ سرعة التحرر في استواء الكوكب 23.6 كيلومتراً في الثانية، أي إن هذه السرعة تزيد مرتين تقريباً (2.107 مرة) على مثيلتها للأرض. ويبعد نبتون عن الشمس 4.496 مليار كيلومتر، أي يفوق الأرض في بعده عن الشمس مقدار 30 مرة. ولذا، فإن مدة تدوير (تدويم) نبتون حول نفسه (مدة يومه)











تبلغ 15.8 ســاعة. وتستغرق مدة سنته (أي مدة دورانه حول الشـمس) 189 60 يوماً، أو 90136.164 عامـاً.

أمَّا في ما يتعلق ببنية نبتون، فتشبه عموماً بنى بقية الكواكب الخارجـيـة. فـالـطبقة الخارجية تشكل معطفاً ثخيناً من الهدرجين الجزيئي (H_2) والهليوم، وربما الميتان. وتبلغ حرارة سطح هذه الطبقة 80 كلفن (أي 193 درجة مئوية تحت الصفر). ويصل ضغط هذه الطبقة إلى قرابة 1 بار (أي 1 جو، يرجع إلى الحاشية 3.11). ويلي هذا المعطف باتجاه المركز طبقة أشد ثخناً، وتتألف من إيونات الماء المرجـــع (H_3O^+) وجـذر الأمـونـيا (NH^+_4)، وربما جـــذر الهدركسيل (HO^-). وتبلغ درجة حرارة هذه الطبقة 500 2 كلفن أو درجة مطلقة، ويصل الضغط إلى مليوني بار. أمَّا نواة الكوكب أو مركزه، فيتألف كالمعتاد من الحديد وربما السيليكات (أملاح السـيليسيوم). وتبلغ درجة حرارة النواة 000 7 كلفن، ويصل الضغط فيها إلى ســتة ملايين بـــار. ويفســر البعــض حـــرارة نبتون بعدم انتهاء سيرورة تبرده التي بدأها في إثر تشـكله مباشرة (أي قبل 4.5 مليار عام تقريباً).

ويـدور حـول نـبـتـون سـاتـلان: «تـريتون» Triton (في الأسطورة نصف إله من أنصاف آلهة البحر عند اليونان، جسمه جسم رجل، وذيله ذيل سمك)، و«نيريئيد» Nereid، Néreide (واحدة من الحوريات البحرية، وتعتقد الأسطورة اليونانية أنهن بنات إله البحر نيريوس Nereus، Néreuse). ويبلغ قطر تريتون 800 3 كيلومتر (أي يفوق قطر القمر مقدار 524 كيلو متر). وتبلغ كتلته 5.7×10^{22} كيلوغرام (أي تقل عن كتلة القمر مقدار

الشكل 51.3. أربع صور لنبتون أُخذت بطول موجة تقع في بداية طيف الأشعة تحت الحمراء من قبل فلكيي مرصد «كاتالينا» باريزونا في الولايات المتحدة. إن للمرصد عدسة قطرها 1.54 متراً. واستعملت في التقاط الصور الثلاث العلوية مرشحة لا تسمح إلا بمرور الموجة 890 نانومتراً والتي يمتصها غاز الميتان امتصاصاً شديداً. أُخذت الصور الثلاث في خلال ساعتين و 24 دقيقة بالتوقيت العالمي، حيث يلاحظ انزياح منطقة الامتصاص الشديد باتجاه الجانب الأيسر للكوكب. أمَّا الصورة السفلية (الرابعة)، فأخذت بطول موجة قدرها 755 نانومتراً، (نهاية الطيف المرئي)، حيث يكون امتصاص الميتان ضعيفاً جداً (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14، ص. 208)

1.29 مرة). أمّا كثافة تريتون، فتبلغ 2 غراماً للسنتي متر المكعب (أي تقل عن كثافة القمر مقدار 1.66 مرة). ويدور تريتون حول نبتون (وخلافاً للكواكب كافة) بحركة راجعة، ويرسم مداراً يبعد 353 ألف كيلو متر عن الكوكب الأم (نبتون). ولقد حدث واقترب تريتون من نبتون، وتجاوز حد روش (يرجع إلى ما قبل نهاية الفقرة الخاصة بزُحل)، فتحطم إلى قطع، يتجاوز قَدُّ الواحدة منها مئات الكيلومترات. وعادت هذه القطع لترتطم منسحقة على بقية جسم تريتون منذ مئة مليون عام. ويمكن بدراسة درجات حرارة الساتل تريتون، التنبؤ بمعدل التفاعلات النووية الحرارية التي تحدث في الشمس. ولقد تبين مؤخراً أنَّ درجةحرارة سطح تريتون قد ارتفعت قليلاً، واستُنتج (بناء على ذلك) أنَّ معدل هذه التفاعلات في جوف الشمس قد ازداد حديثاً بعض الشيء. أمّا في ما يتعلق بالساتل نيريئيد، فيبلغ قطره 940 كيلو متراً، وكتلته 1.3 مليون مليار (1.3×10^{15}) كيلو غرام، وكثافته 2.6 غراماً للسنتي متر المكعب. ويقترب النيريئيد في دورانه حول نبتون مسافة 000 390 1 كيلو متر، ويبتعد عنه مسافة 000 733 9 كيلو متر، ويبلغ عامه (أي مدة دورانه حول الكوكب الأم نبتون) 360 يوماً. وخلافاً لتريتون، فإنَّ نيريئيد يدور حول نبتون دوراناً تقدمياً (أي غير راجع).

IX. بلوتو

يشكل «بلوتو» Pluto (إلّه الموت والجحيم عند كل من اليونان والرومان) الكوكب الخامس والأخير (حتى الآن) بين الكواكب الخارجية، والتاسع بين كواكب المنظومة الشمسية، وهو أبعدها كلها عن الشمس، وأكثرها غموضاً. ولقد اكتشف هذا الكوكب من قبل الفلكي الأمريكي «كلايد ويليام تومبو» Clyde William Tombaugh في 18 شباط (فبراير) عام 1930. وتبلغ كتلة هذا الكوكب 1.13×10^{22} كيلوغرام، وتقل مقدار 6.5 مرة تقريباً عن كتلة القمر، وما بين 528 و 588 مرة عن كتلة الأرض (ذلك أن معظم القيم الفيزيائية الخاصة ببلوتو الواردة في الجدول 2.3، هي قيم تقريبية). إن صغر حجم هذا الكوكب، وضعف تألقه، وبعده الشاسع عن الأرض (قرابة سبعة مليارات كيلو متر) قد أرجأت اكتشاف بلوتو حتى ثلاثينات هذا القرن. ولكن إذا أهملنا تقريبية القيم الواردة في الجدول 2.3 فيمكن الاستنتاج أنَّ نصف قطر استواء بلوتو يبلغ قرابة 500 1 كيلو متر، ويقل مقدار 4.25 مرة عن نصف قطر الأرض. وتتراوح كثافته الوسطية ما بين 0.6 و 1.7 غراماً للسنتي متر المكعب، وتقل هذه الكثافة وسطياً عن كثافة الأرض مقدار 4.8 مرة. أمّا ثقالة هذا الكوكب في الاستواء، فتبلغ 4.3 متراً في مربع مربع الثانية. وتقل هذه الثقالة وسطياً عن ثقالة الأرض مقدار 2.27 مرة. وتبلغ (في المتوسط) سرعة تحرر الأجسام من سطح استواء بلوتو 5.3 كيلو متراً في الثانية، وتقل هذه السرعة مقدار النصف تقريباً عن سرعة التحرر من سطح الأرض (11.2 كيلو متراً في الثانية). ويبعد بلوتو عن الشمس قرابة 900 5 مليون كيلو متر، وتفوق هذه المسافة بعد الأرض عن الشمس قرابة 39.4 مرة. وتبلغ مدة يوم بلوتو (مدة تدويره حول نفسه) 6.3874 ساعة فقط. أمّا عامه (مدة دورانه حول الشمس) فيبلغ 465 90 يوماً. وتفوق هذه المدة عام الأرض مقدار 247.6 مرة (عام). وبدهي أن قصر يوم بلوتو وطول عامه، يرجعان بصورة أساسية إلى البعد الشاسع لهذا الكوكب عن الشمس، الذي يحرر هذا الكوكب جزئياً من ثقالة الشمس وثقالة نبتون.

وبالنظر إلى الخصائص التي يتصف بها بلوتو، فإنّه يبدو كوكباً شاذاً عن بقية الكواكب الداخلية (الأرضية) والخارجية التي تدور حول الشمس. ويرى البعض أنَّ هذا الكوكب الجليدي كان ساتلاً لنبتون، تملص من ثقالته، والتحق بالشمس. ويمكن الاستنتاج من القيم التقريبية الخاصة بهذا الكوكب والواردة في الجدول 2.3 أنَّ بلوتو يعتبر كوكباً

يكتنفه الكثير من الغموض. ومع هذا، فلقد اكتُشف عام 1978 ساتلٌ يدور حول بلوتو ويبلغ قطره قرابة 1 200 كيلو متر. ولقد أطلق على هذا الساتل اسم «كارون» Charon(14.3). ويطلق اسم «كارون» أيضاً على العاثية لامدا (العاثية من عاث)، وهو فيروس يقتات على البكتيريا أو الجراثيم، ويتسبب (كرجل القارب) بنقل الجينات، والممرضة منها على وجه التخصيص، من كائن حي إلى آخر. وتستعمل عاثية «كارون» أوالعاثية لامدا حالياً كناقل للجينات في تقنية الهندسة الجينية. ويدور كارون حول بلوتو (مدة عامه) مرة كل 6.39 ساعة، ويقع على مسافة من الكوكب الأم تبلغ قرابة 17 000 كيلو متر. إنَّ مدة دوران كارون حول بلوتو تساوي تماماً مدة تدوير (تدويم) بلوتو حول نفسه، الأمر الذي يجعل من منظومة بلوتو-كارون المنظومة الوحيدة (بين كواكب الشمس وسواتلها) المتزامنة تزامناً تاماً (أي إنَّ كارون يدور مرة واحدة حول بلوتو خلال المدة نفسها التي يدور فيها بلوتو مرة واحدة حول نفسه).

(14.3) تستعير العلوم من الأساطير، واليونانية منها على وجه التخصيص (وبعضها، على ما يبدو، «اقتباس» من أساطير ما بين النهرين، وعلى الخصوص من ملحمة «جلجامش») أسماء كثيرة. وتأتي في مقدمة هذه الأساطير «الإلياذة» Iliade و«الأوديسة» Odysée. ويُعتقد أن مؤلف هذه الأسطورة العملاقة (سيدة الأدب الإنساني الرفيع) الشاعر الملحمي اليوناني «هوميروس» Homeros، Homère الذي عاش على ما يبدو في اليونان قرابة القرن الثامن قبل الميلاد. ولكن المؤرخ «هيردوت» Hérodote يعتقد بأنه يوناني من آسيا الصغرى، وعاش في القرن التاسع قبل الميلاد. و«كارون» Charon في الأسطورة هو رَجل القارب الذي كان ينقل عبر نهر «ستيكس» Ctyx المقدس أرواح من حكم عليهم بالعيش كأموات في العالم السفلي (تحت الأرض). وذلك بمعدل أوبول واحد من الأرواح في كل رحلة (الأوبول obol هو وحدة وزن يونانية قديمة، وتعادل 0.72 غراماً). وتقول الأسطورة إن أم «آخيل» Achille (أكثر أبطال «هوميروس» شهرة، والمقاتل اليوناني الرئيس في حرب «طروادة» Troie) أمسكت آخيل في إثر ولادته من عقبه (كاحله)، وغطسته في نهر «ستيكس»، فابتل كامل جسمه بماء النهر ما عدا عقبه الذي أصبح نقطة المقتل (ومنها المثل: عقب آخيل). ولقد قامت حرب طروادة بين اليونانيين الآخيين (مجموعة ممالك يونانية من بينها إسبارطة)، واليونانيين الطرواديين عندما عمد «باريس» Parîs (الابن الثاني لـ «بريام» Priam ملك طروادة وشقيق الفارس الشجاع «هكتور» Hectore والجميلة «كسندرا» Cassandra) إلى اختطاف أميرة الجمال اليوناني الإسبارتي «هيلين» Hélène زوجة الملك «مينيلاس» Ménélas. وكانت الآلهة قد وضعت «باريس» حكماً ليختار الإلهة الأجمل بين آلهات طروادة الثلاث: «أفروديت» Aphrodite، و«هيرا» Héra، و« أثينا » Athéna، كي تمنح الآلهة التفاحة الذهبية لمن يختارها « باريس». فوعدت «أفروديت» «باريس» بأن تمنحه حب «هيلين» إذا ما اختارها (أي «أفروديت»)، مما دفع «باريس» إلى التسرع واختطاف «هيلين»، الأمر الذي أدى إلى حدوث الحملة ضد «طروادة» لاستعادة «هيلين». وفي المنازلات التي حدثت، قتل «آخيلُ» «هكتور» المحبب إلى بعض الآلهة لشجاعته. فأعلمت الآلهة عندئذ «باريس» بسر نقطة مقتل «آخيل»، فوجه «باريس» سهماً مسموماً إلى عقب « آخيل » وقتله. ومع أن حرب «طروادة» اشتهرت بخدعة حصان « طروادة »، فإنَّ االدارسين يرون أن سرعة غضب آخيل ونزقه كادا أن يتسببا في خسارة الآخيين الحرب. أمَّا «كسندرا » (شقيقة «هكتور» و«باريس»)، فلقد وهبها الإله« أبولون » Apollon سر المقدرة على قراءة المستقبل، والتنبؤ به، شريطة أن تمنحه حبها. ولكن «كسندرا» أخذت السر وتمردت على «أبولون»، فحكم عليها هذا بأن لا يصدق أحد نبوآتها، وأن تصبح رمزاً لسوء الطالع. وهكذا تحولت « كسندرا » إلى نبية المصائب والكوارث. ومن المذهل حقاً أن « هوميروس » ذكر أن يرقات الذباب تنشأ من الذباب نفسه (خلافاً لنظرية التولّد العفوي التي وضعها « أرسطو » و نقضها « باستور » في القرن التاسع عشر)، وذلك عندما طلب« آخيل» إلى والدته أن تعتني بجثة صديقه «بَتروكلوس»، وأن لا تدع الذباب يحط عليها كي لاتفسد يرقاته الجثة. كما أن الأوديسة تشتمل على فكرة، تماثل مايحدث في الاستموات الخلوي. ذلك أن بحارة «يوليس» (بطل الأوديسة) كانوا عندما يستجيبون لأصوات حوريات البحر، تصطدم مراكبهم بالصخور ويموتون. تماماً كما يحدث للخلية عندما تستجيب لإشارة الاستموات (أو الموت الخلوي المبرمج، أو الانتحار الخلوي)، فتستموت (أي تطلب الموت). وتجدر الإشارة (بصدد الحديث عن «كارون» والعيش في العالم السفلي لمن حكم عليهم بعد الموت بذلك)، إلى أنَّ إحدى الأساطير اليونانية تقول إن «سيزيف» Sisyphus، Sisyphe ملك « كورينث » Corinthe كان يرأس عصابة لصوص وقطاع طرق، اشتهرت بترويعها الناس، وفتكها بهم. وقبيل موت «سيزيف» طلبت منه الآلهة أن يختار بين العيش مع أموات العالم السفلي وبين البقاء فوق سطح الأرض (حيث الشمس والهواء والحرية على وجه التخصيص) على أن يدفع أبدياً ←

ويقوم حالياً الاتحاد الفلكي العالمي
(IAU)The International Astronomical Union, L'Union International d' Astronmie (UIA)
بإعادة النظر[28] بوضع هذا الكوكب الشاذ الجليدي (بلوتو)، الذي يعد أكبر ما يعرف بالأجسام ما وراء نبتون (OTN)Objets trans-Neptonians, (TNO)trans-Neptonian objects . فلقد تبين أن قطر هذا «الكوكب» يبلغ 200 2 كيلومتر (وليس 000 3 كيلومتر كما سبق وذكر)، وأن مداره متطاول جداً، وتركيبه لا يماثل تركيب الكواكب الأرضية صخرية البنية، ولا الكواكب العملاقة غازية البنية. ولقد تم في عام 1992 اكتشاف جسم جليدي قزم، لا يزيد قطره على 200 كيلو متر، وأطلق عليه اسم الجسم ما وراء نبتون(TNO). وتلا ذلك اكتشاف عدد كبير نسبياً من الأجسام ما وراء نبتون، ويعرف حالياً منها أكثر من 70 جسماً، ويطلق عليها بعض الفلكيين «المذنبات الفائقة» supercomet، supercomètes . وليس بلوتو سوى أكبر هذه الأجسام حجماً. ويعتقد أن عدد هذه الأجسام المكتشفة سيصل أخيراً إلى قرابة 000 3 . لذا، فإن عدداً كبيراً من الفلكيين يحبذون فكرة حذف بلوتو من قائمة كواكب المجموعة الشمسية، التي ستقتصر عندئذ على ثمانية كواكب (وليس تسعة). في حين أن قلة تعارض ذلك بشدة، وترى أن بلوتو ليس كويكباً، أو مذنباً عملاقاً. ولكن حتى لو تم حذف بلوتو من بين كواكب المجموعة الشمسية، [أمر يتم بطريقة عجيبة، إذ يعتمد على إجراء تصويت (عن طريق البريد) بين الفلكيين على الوضع الفلكي لهذا الكوكب ذي الحظ العاثر]، فإنَّ اسم هذا الكوكب سيظل ضمن مجموعة الكواكب الشمسية لأجيال عديدة.

3.4.2 .2 .1. المذنبات

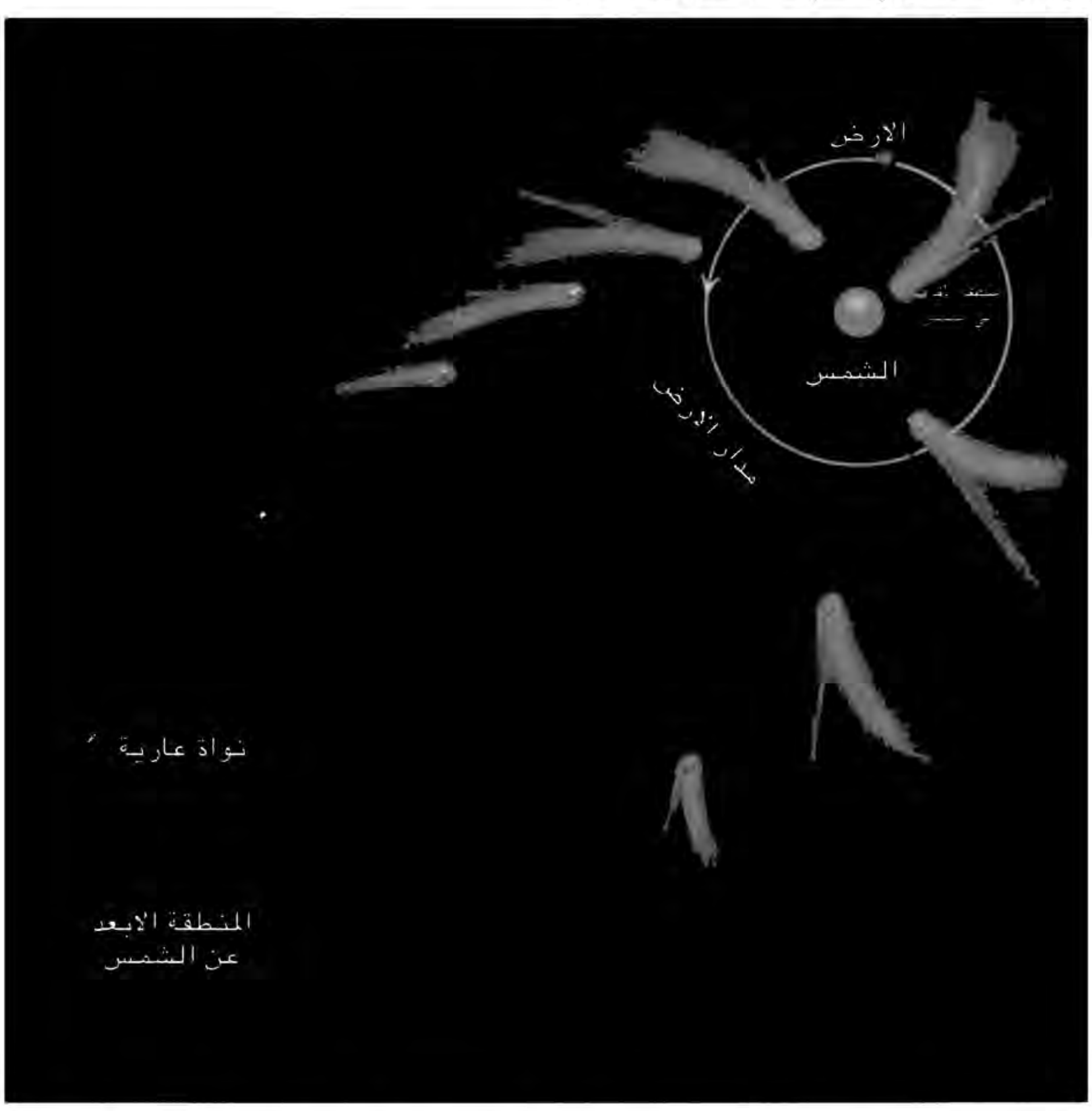
بالنظر إلى مصادفات رؤية بعض الناس المذنّبات comets، comètes في الماضي في حالات كوارث بشرية (جوائح الأمراض - والطاعون منها على وجه التخصيص - والفيضانات، والزلازل الأرضية)، وأحياناً بأمور عجائبية، كالاعتقاد أنَّ أحدها (وهو مذنّب هالي) قد قاد طريق ملوك المجوس إلى مزود المسيح في بيت لحم(انظر الشكل 3. 56)فلقد رأينا أنَّه من الضروري الإشارة إلى هذه الأجسام السماوية الملحقة بالمنظومة الشمسية ولو بشيء من الإيجاز.
إنَّ الظهور المفاجئ في قبة السماء لهذه الأجسام المذنّبة ذات المنظر المدهش، والتغير السريع جعل الإنسان يربط مرورها في سمائه بتوقع حدوث كارثة ما، أو أعجوبة معينة. وبدهي أن نشير في هذا الصدد إلى ما كان الفلكيون والمنجمون خاصة ينذرون الناس به عند ظهور أحد المذنّبات، والذي كان يُعدُّ في معظم الأحيان فأل شر مستطير. وهذا ما أشار إليه «أبو تمام» («حبيب بن أوس الطائي» 796-843) في قصيدته «فتح عمورية» عندما قال بصدد مذنّب هالي (الذي يبزغ من الغرب):

«وخَوفوا الناسَ منْ دَهياءَ مظلمةٍ   إذا بدا الكوكبُ الغربيُّ ذو الذَنَب»

←بصخرة هائلة الحجم ليوصلها إلى قمة جبلٍ عالٍ، لتسقط متدحرجة قبل بلوغها القمة، وليعود «سيزيف» إلى دفعها من جديد، وهكذا، فيستمر هذا العقاب إلى ما لانهاية. ولقد اختار «سيزيف» الحكم الأبدي الثاني، مفضلاً معاناة هذا العذاب الأزلي والبقاء على سطح الأرض على العيش بين أموات العالم السفلي. وتجدر الإشارة إلى أنَّ الكاتب الفرنسي وجودي النزعة «ألبير كامو» Albert Camus (1913-1960، الذي حاز على جائزة نوبل للآداب عام 1957) كان معجباً بخيار «سيزيف»، وكتب عنه مقالة أدبية رائعة عام 1955 بعنوان «أسطورة سيزيف» «Le Mythe de Sisyphe »، وترجمت إلى الإنكليزية عام 1961 بالاسم نفسه: «The Myth of Sisyphus »، ونشرتها دار « آلفرد نوف » Alfred A. Knopf للنشر في العام نفسه.

28. Shilling , G., Science **283**, 157 (1999).

ولقد اتضح من دراسات «جوهانس كبلر»، والفلكي البريطاني «إدموند هالي» Edmund Halley (1656-1742) و«إسحاق نيوتن»، أن هذه المذنّبات (التي كان قد سجل ظهورها على ما يبدو لأول مرة الصينيون) هي أجسام ترسم مدارات حول الشمس، وتخضع هذه المدارات لقوانين «كبلر» و«نيوتن» في نظاميتها ودقتها، وتتشكل وفقاً لآلية فيزيائية محددة (الشكل 3 . 52)، وأنه يمكن الآن تفسير ألوانها (الأخاذة أحياناً) بتركيبها الكيميائي، وبتأثير أشعة الشمس في بنيتها. كما يمكن في معظم الأحيان التنبؤ بأزمنة ظهورها.



الشكل 3 . 52. ترسيم تطور المذنب وهو يدور في مداره . عندما تقترب النواة من المحيط ، فإن ذيل الغبار وذيل الغاز المتأين يبدأان بالتشكل ، ليحققا أبعاداً أعظمية في أقرب موقع لهما من الشمس . وفي حين أن الذيل الغازي يستقيم متعامداً مع الشمس ، فإن ذيل الغبار ينحني بالاتجاه الراجع . وفي هذه المراحل من تطور المذنب ، يتخطى طول الذيلين مدار الأرض . وهذا ما حدث لمذنب «هالي» في 19 أيار (مايو) 1910 عندما مر تماماً بين الشمس والأرض (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 212) .



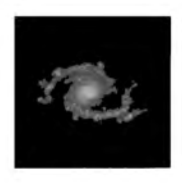
ويرجع أصل كلمة comet، comète إلى الكلمة اليونانية komêtês، وتعني مذنّب (ذيل ذو أشعار). ويتألف المذنّب من نواة تتجه، دائماً نحو الشمس (حيث يرسم المذنب مداره)، ومن ذيل طويل ذي شقّيْن (أحدهما أزرق والثاني أصفر)، يتجه باستمرار بعيداً عن الشمس، حيث يكون أحد الشقين (الأزرق) عمودياً دائماً على الشمس، في حين يرسم الشق الثاني (باتجاه الشمس) قوساً قليل الانحناء. هذا، ويمكن للوني الذيل أن يبتعدا قليلاً عن الأزرق والأصفر (الشكل 3 . 53).



الشكل 3 . 53. صورة بالألوان الطبيعية للمذنب « ويست » West الذي شوهد بسهولة عند الفجر في ربيع 1976 . يمكن بوضوح تمييز بلازما ذيل الغاز المتأين (الأزرق الداكن) ، وكذلك ذيل الغبار (الأصفر الشاحب) . ولقد أمكن لأول مرة البرهان على وجود الكربون (C) ، وأول أكسيد الكربون (CO) . ولقد تحطمت نواة هذا المذنب « الجديد » في آذار (مارس) 1976 (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ،ص. 216)

أمَّا في ما يتعلق ببنية المذنّب، فلقد اتضح أنَّ النواة تتألف من الماء المتجمد، وذلك عندما يكون المذنّب بعيداً عن الشمس. ولكن عندما يقترب مدار المذنّب من الشمس (يُرجع إلى الشكل 3. 52)، فإنَّ قسماً من ماء سطح الكرة الجليدية التي تشكل النواة يتميع، ثم يأخذ بالتبخر، وينطلق البخار بسرعة في الفراغ، ساحباً معه الركام الكوني (غبار الفضاء)، الذي يتألف من عدد كبير من جزيئات مواد كيميائية كونية عديدة، يشكل الهدرجين معظم كتلتها (يرجع إلى الجدول 3. 1)، فتتشكل عندئذ سحابة عملاقة من هذا الغبار الهدرجيني، يبلغ طولها عشرات ملايين الكيلومترات، وتضيئها أشعة الشمس. وتُعَدُّ هذه السحابة الهائلة الزرقاء-الصفراء مسؤولة عن الظاهرة المضيئة التي ترسم خطاً متوهجاً في السماء، اشتق الفلكيون منها اسم «المذنّب komêtês». وهكذا يتضح أنَّ المذنّب يخسر جزءاً من كرته الجليدية المتسخة (وبخاصة الماء) عندما يكون بعيداً عن الشمس، ليعود ويسترد الغبار الكوني المفقود كلما اقترب من الشمس. وبناء على ذلك، فإن عدداً من المذنّبات يفقد توهجه تدريجياً نتيجة خسارته (في كل دورة يدورها حول الشمس) جزءاً من ماء نواته الجليدية. ويقدَّر أجل المذنّبات المعمرة ببعض عشرات ملايين السنين، وهو أجل يبدو قصيراً جداً بمقاييس آجال كواكب المنظومة الشمسية التي يبلغ عمرها حتى الآن 4.5 مليار عام. لذا، فإنَّ بعض الفلكيين يعتقد أنَّ هذه المذنبات ولدت مع المنظومة الشمسية نفسها، وحُفظت جانباً في الفضاء فائق البرودة، الذي يشكل المجال خارج المنظومة الشمسية. كما يُظن أنَّ اضطرابات ضئيلة معينة، تحدث من حين لآخر في هذا المجال خارج المنظومة الشمسية وذي البرودة المفرطة (قرابة 3 كلفن أو درجة مطلقة أو 270 درجة تحت الصفر(سلسيوس)). وينجم هذا الاضطراب الضئيل عن مرور نجم ما في هذا المجال الذي يعد في المقاييس الكونية قريباً من الشمس. ويسّرع هذا الاضطـراب من اندفاع إحـدى هذه النوى في المجـال داخل المنظـومة الشـمسية، لتبدأ الدورة الأولى من حيـاة المـذنّب.

يتضح مما تقدم أنَّ ظاهرة تشكل المذنّب تعود أصلاً إلى الكرة الثلجية المتسخة التي تتمثل بالنواة. ويؤدي اقتراب النواة من الشمس إلى تشكل المكونات الرئيسة للمذنّب: الذيل، والسحابة (التي تتألف أساساً من الهدرجين)، وفرعا الذيل. ويتألف أحد فرعي الذيل (ويكون لونه أصفر مائلاً إلى الشحوب بسبب انعكاس أشعة الشمس على مادته) من الغبار الكوني. أمَّا الفرع الثاني، فيتألف من مواد (غازية على وجه التخصيص) متأينة، ويظهر ذا لون أزرق، ذلك أنَّ أول أكسيد الكربون المتأين (CO^+)، الذي يدخل في بنية هذا الشق من الذيل، يصدر إشعاعاً مضيئاً طول موجته 420 نانومتراً، وهذا هو القسم الأزرق من الطيف الذي تتحسس به شبكية العين البشرية (الشكل 3. 54). ومع أنَّ الماء يشكل القسم الأساسي من نواة المذنّب وهيكله، فإنَّ قسماً من هذا الماء يتأين إلى هدرجين (H^+)، وهدركسيل (OH^-)، يتفارق بدوره إلى هدرجين (H)، وأكسجين (O).. كما يمكن الكشف في المذنب عن وجود الأيون H_2O^+ ، وكذلك عن الكربون الأحادي (C)، والثنائي (C_2)، والثلاثي (C_3)، وعن مركبات كربونية يأتي في مقدمتها الكربون أحادي الهدرجين(CH)، والسيانور (CN)، وكبريت الكربون (CS). وتقدر الكتلة العظمى لأقسام المذنّب الثلاثة (أي المذنب كله ما عدا النواة) بثلاثة مليارات (3×10^9) كيلوغرام، وهذا الرقم ضئيل جداً مقارناً بكتلة أصغر كواكب المنظومة الشمسية (أي 1.13×10^{22} أو عشرة آلاف مليار مليار كيلوغرام وهي كتلة بلوتو، يُرجع إلى الجدول 3. 2). أمَّا النواة (التي تتألف كما عرضنا من جليد متسخ)، فلها قطر يبلغ بضعة كيلو مترات، وتزن ما بين ألف مليار ومليون مليار (ما بين 10^{12} و 10^{15}) كيلو غرام. ويعتقد أنَّ الكرة الجليدية المتسخة التي تؤلف النواة، تحوي أيضاً بلورات من ثاني أكسيد

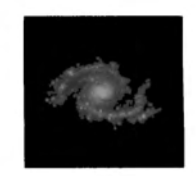


الكربون (CO_2)، وأول أكسيد الكربون (CO)، والآزوت الغازي (N_2)، و الميتان (CH_4). وتبدأ هذه الغازات المتجمدة بالتبخر في الوقت الذي يشرع فيه مدار المذنّب بالاتجاه نحو الشمس، وفي اللحظة نفسها التي يبدأ فيها الماء بالتبخر.

ذيل البلازما
التكثف المركزي
المتألق
ذيل الغبار
الاشعار
اتجاه الشمس

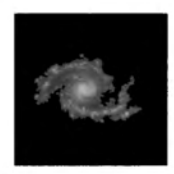
الشكل 3.54. صورة طبيعية الألوان لنواة المذنب ولذيليه. يمكن بالعين المجردة رؤوية سديم منتشر، يتألف من النواة والذيلين. ويتكون الذيلان من خصلتين من الأشعار هائلتي الأبعاد. ولدى اقتراب المذنب من محيط الشمس، يستقيم ذيل بلازما الغاز المتأين (الأزرق الداكن) مع أشعاره متعامداً مع الشـمـس. أمّا الذيل الكثيف المتوهـج (الأصفر الشاحب)، الذي يتألف من الغبار، فينحني قليلاً باتجاه الشمس والاتجاه الـراجـع لمدار المذنب. وتـتـألـف الـنـواة الـتـي تشـكـل مـركـز رأس المذنب مـن مـادة صـلـبـة مـا تـزال مجهـولـة الـطـبـيـعـة (عن Bersani ,et al.1983، المرجع 14، ص. 213).

أمّا في ما يتعلق بالمذنّب الأكثر شهرة (ونعني بذلك مذنّب «هالي» Halley)، فلقد لوحظ لأول مرة على ما يبدو من قبل الصينين عام 240 قبل الميلاد. وتبلغ مدة دوران مذنّب «هالي» (سمي باسم الفلكي الشاب «ادموند هالي» الذي لاحظه عام 1682 وكان عمره آنذاك 26 عاماً) حول الشمس مرة كل 76 عاماً تقريبا. ولقد لوحظ آخر مرة في 13 آذار



(مارس) عام 1986 (الشكل 3 . 55) . ويدور مذنب «هالي» باتجاه راجع، فيبزغ من الغرب . وبالنظر إلى أنَّ سرعة هذا المذنّب تبلغ 75 كيلو متراً في الثانية، فإنَّ مراقبته من الأرض لا يمكن أن تستمر سوى بضع ساعات (الشكل 56.3) .

الشكل 3 . 55. صورة لمذنب «هالي» Halley وأشعار ذيليه ، أُخذت في 8 أيار (مايو) 1910 . ويمكن بوضوح رؤوية الأشعة الصادرة عن الرأس والناتجة عن تأين أول أكسـيد الكربون CO إلى CO^- (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14, ص . 221) .



الشكل 3- 56. «سجود المجوس» L'Adoration des Mages, The Adoration of Magi. لقد ذهل «جيوتو دي بوندون» Giotto di Bondon بالمظهر الآخاذ لمذنب «هالي» Halley عام 1301 ، وجَسَّده بهذه اللوحة الزيتية الغنية عن التعريف، التي وُضعت في كنيسة «آرينا» Arena في باداوا. ووفقاً لسيرة القديسين، فإن نجماً متألقاً تبعه ملوك المجوس حتى «بيت لحم»، ليشاهدوا الطفل «يسوع» في إثر ولادته مباشرة. بيد أن حسابات حديثة، بينت أن مذنب «هالي» ظهر قبل 12 عاماً من ولادة «المسيح». كما أن الروايات الفلكية الرومانية والصينية، تشير إلى أن المذنب ظهر في السنة الحادية عشرة قبل الميلاد (عن Bersani et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص. 221)

أخيراً، وبعد الانتهاء من هذا الفصل المثقل بالمعارف، وكما كنا عرضنا في المقدمة، فإن المعرفة تجلب المتعة، وتستثير تساؤلات جديدة. وما من تفسير إلاَّ وبعده تفسير أعمق. والتساؤل هو أحد عُمُد تكوين المعرفة. ويمكن لإنعتاق الفكر في المعرفة أن يتحول أيضاً إلى هوى، يستحوز العقل والقلب. وقد يجد المحبُ الأصيلُ للمعرفةِ نفسَه في حال يمكن التعبير عنها مجازياً ببعض من مشاعر «المتنبي» (915-965) في قصيدته المعروفة، التي مطلعها:

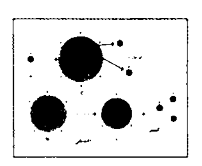
« ما لَنا كلُّنا جَوٍ يا رَسولُ　　　أنا أهوى وقَلبُكَ المتبولُ»

وإذا خامرَ الهوى قلبَ صَب　　　فعليه لكلِّ عينٍ دَليلُ
زودينا من حُسنِ وجهكِ ما دامَ　　　فحُسنُ الوجوهِ حالٌ تحولُ
وصلينا نَصلْكِ في هذه الدنيا　　　فإنَّ المُقامَ فيها قليلُ
نحنُ أدرى وقد سألنا بنجدٍ　　　أطويلٌ طريقُنا أم يطولُ
وكثيرٌ من السؤالِ اشتياقٌ　　　وكثيرٌ من رَدِّه تعليلُ

(من «المتنبي» في الكوفة بعد مفارقته «كافوراً» إلى «سيف الدولة» في حلب، 956؟)

وبما فيها من سحر، فإنَّ المعرفة تستدعي أيضاً استثارة الخيال. فإذا ما انطوت المعرفة على جوانب لم يتم إدراكها بداهة، فالعيب ليس فيها. إنَّ القصور سيكون عندئذ في الخيال الذي أخفق في الوقوف على سحر ما هو خفي في المعرفة. إنَّ قول «بدوي الجبل» (1905-1984) تعبير بليغ عن ذلك:

«فدعْ لومَهُ إنْ لمْ يلحْ لكَ سِحرُهُ　　　خيالُكَ لا سِحرُ الخَفاءِ مَلومُ»



القسم الثاني

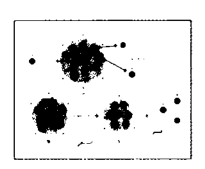
التطور الفيزيائي الكيميائي

" If you were to destroy in mankind the
belief in immortality,
not only love but every living force
maintainig the life of this world
would at once be dried up."

Feodor Mikhaïlovitch Dostoïevski (1821-1881),
in "The Brothers Karamazov " (1879-1880).

« إذا افترضنا أنه يمكن أن نقضي على إيمان الإنسان بالخلود، فلن يموت الحب وحده وحسب، بل ستتلاشى أيضاً، وفي اللحظة نفسها، كل قوة تصون الحياة في هذا العالم ».

« فيودور ميخائيلوفيتش دوستويفسكي » (1821-1881)، في « الإخوة كارامازوف » (1879-1880) (يُرجع أيضاً إلى هذا الاقتباس في الفقرة 2، 1).





القسم الثاني

التطور الفيزيائي الكيميائي

الفصل الرابع

نشوء المادة

1.4. التحولات بين الطاقة والمادة

2.4. السيرورات النووية وابتناء العناصر

3.4. الاصطناع النووي وتطور مادة الكون

الفصل الخامس

الماء ودوره في نشوء الحياة

1.5. مقدمة

2.5. تكون الماء

3.5. الخصائص الفيزيائية الكيميائية للماء

4.5. الخصائص الكيميائية الحيوية للماء

الفصل السادس

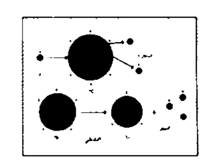
السيليكات والجزيئات العضوية

1.6. مقدمة

2.6. السيليسيوم وعالم السيليكات

3.6. الكربون والمركبات العضوية

4.6. القوى اللاتكافؤية وزمرة الفسفات



الفصل الرابع

نشوء المادة

" you have navigated with raging soul,
far from the paternal home ,
passing beyond the sea's double rock,
and you now inhabit a foreign land. "

Euripide (480-406 B. C.) in Medea, Médée, 431 B.C.

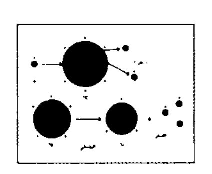
« لقد أبحرت وروحك مفعمة بالحماسة،
بعيداً عن موطن الآباء،
وراء البحار ذات الصخور الموحشة،
وها أنت الآن تستوطن أرضاً غريبة »

« يوربيد » (481-406 قبل الميلاد) في «ميديا» • 431 قبل الميلاد.

تتمثل الفكرة الأساسية في هذا الكتاب (كما سبق أن عرضنا غيرة مرة) بالبرهان على أن نشوء الكون وتطوره كان موجهاً ليقود (بعد بدء تكون المادة وولادة القوى الطبيعية الأربع)، وبعكس فعل الأنتروبية، من حالة الشوش واللا انتظام إلى التساوق والتناسق والانتظام، من الأبسط إلى الأعقد تركيباً وبنية، ومن الأقل إلى الأعلى أداء وكفاية. وهكذا، فإن الركام الكمومي البدئي كان يتألف (قبيل حدوث الانفجار الأعظم) من نقطة شديدة الصغر وهائلة الكثافة والسخونة، اتحدت فيها القوى الطبيعية الأربع بقوة متفردة في متصلة continuum المكان-الزمن ذات الأبعاد الأحد عشر والبنية الوترية الغشائية الحويصلية. إنه كموم من الطاقة لا أثر للمادة فيه.

وبسبب من عدم استقرار هذا الكموم، حدث الانفجار، وتم تكون الفوتونات والغرافيتونات والغليونات (رسل أو حوامل القوى الطبيعية)، وعناصر غريبة غير عادية. وفي إثر ولادة القوى الطبيعية بالانجماد (نتيجة التحولات الطورية التي حدثت بسبب تبرد حرارة الكون) شرعت المادة بالتكون بدءاً من طاقة الكموم البدئي. لقد تخلقت الكواركات بدءاً من الأوتار الغشائية، وشرع ما نجا من هذه الكواركات(نتيجة تفانيها مع الكواركات المضادة بما عرف بمذبحة الكواركات) بتشكيل البروتونات (نوى الهدرجين)، والنترونات (حيث تشكلت أيضاً من بروتونين ونترونين نوى الهليوم). ولدى تبرد درجة حرارة الكون إلى مستوى موات، وبغية التخلص من الاستقطاب الكهربائي للحقول

• ميديا: الساحرة في الأسطورة اليونانية التي هرب منها عشيقها، فعمدت إلى ذبح أولاده.



السلبية والموجبة؛ للوصول إلى حالة الحياد، أسرت البروتونات الإلكترونات، وتكون الهدرجين ومن ثم الهليوم. وبفعل قوة الثقالة (ومن ثم قوة العزم الزاوي وأقراص التضخم، انظر الفقرة التالية)، شكلت نقاط معينة في الكون المتجانس (كانت أكثف قليلاً من غيرها) بذور مجرات هذا الكون ونجومه.

ومع تكثف سحب الهدرجين أساساً، وسحب الهليوم هامشياً، وتراص الذرات، وارتفاع درجة حرارة الكتلة المتراصة، شرعت تفاعلات نووية بالحدوث أدت إلى تكون العناصر كافةً تقريباً بآليات تحكم على نحو صارم العلاقة بين الطاقة والمادة والعكس بالعكس. وكما سنعرض لهذه التفاعلات في الفقرات الثلاث التالية، فإن تكون العناصر أتى نتيجة سيادة ظاهرة الانتظام والتساوق والتناسق والتكون (الابتناء) على ظاهرة الشوش والفوضى واللاانتظام.

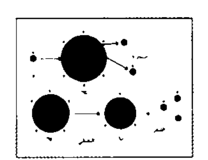
ولم يقتصر الأمر على تكون العناصر المعدنية والفلزانية فحسب، بل أدى هذا الانتظام إلى تكوّن الماء والميتان والأمونياك وعدد من المركبات يزيد عددها على خمسين مركباً، قامت ببنائها العناصر الأولى ذات الكتل الذرية المنخفضة (الهدرجين والكربون والآزوت والأكسجين التي ستشكل فيما بعد الذرات الأولى للحياة).

4 . 1. التحولات بين الطاقة والمادة

يتم تحول الطاقة إلى مادة والعكس بالعكس بظاهرتين رئيستين اثنتين، تقيمان مع درجة حرارة الجملة علاقات فيزيائية محددة. وكما كنا عرضنا في ما سبق (يُرجع إلى الفقرة 3 . 3 . 1)، فإنَّ الظاهرة الأولى تعرف بتفاعلات الاندماج النووي الحراري fusion thermonuclear reactions، réactions de fusion thermonucleaire. وتعرف الظاهرة الثانية بتفاعلات التلاشي الضوئي photodisintegration reactions,[14] réactions de photodésintégration. وفي حين أنَّ التفاعلات الأولى (كما سنعرض بعد قليل) تُحرّر، لدى حدوثها، كمية معينة من الحرارة (الطاقة) ومن ثم تعرف بالتفاعلات الناشرة للحرارة exothermic، exothermique، فإنَّ النمط الثاني من التفاعلات لا يحدث إلا إذا تلقى (أو امتص) كمية معينة من الحرارة (الطاقة)، ومن ثم يعرف بالتفاعلات الماصة للحرارة endothermic، endothermique. ويمكن القول عموماً إنَّ نوعي التفاعلات كليهما يخضعان لمعادلة «آينشتاين» الأكثر شهرة ($E=mc^2$) التي عرضنا لها غير مرة، أي إنَّ الطاقة E المتشكلة نتيجة تحول كتلة ذرية ما m إلى طاقة تساوي هذه الكتلة الذرية جداء مربع سرعة الضوء c^2. للتبسيط نذكر أن تحول 1 غرام من الهدرجين الذري إلى غرام من الهليوم الذري يؤدي إلى تحرر طاقة (فوتونات غاما) تعادل 180 مليار جول، وتكافئ هذه الطاقة الفرق بين الكتلة الذرية لغرام واحد من الهدرجين والكتلة الذرية لغرام واحد من الهليوم. إنَّ التفاعل والحالة هذه هو من تفاعلات الاندماج النووي، ويحرر الطاقة، ولا يحدث كما سنرى إلا في درجة عالية من الحرارة.

إنَّ المثال المدرسي على تحول الهدرجين إلى هليوم هو ما يحدث في جوف الشمس (يرجع إلى الحاشية 1 . 8)[(1.4)].
أمّا التفاعل المعاكس، أي تحول الهليوم إلى هدرجين، فهو من نمط تفاعلات التلاشي الضوئي الماصة للحرارة (للطاقة). لذا، فإنَّ تشكيل كتلة ذرية من الهدرجين مقدارها غرام واحد يحتاج إلى كتلة ذرية من الهليوم مقدارها 1 غرام، وكمية من الطاقة (فوتونات غاما) تكافئ 180 مليار جول.

(1.4) كما كنا عرضنا في الحاشية 1 . 8 وفي الفقرة 3 . 4 فإن الشمس تمثل (كنموذج للكواكب الملتهبة) مفاعلاً هائلاً، يعمل بدرجة حرارة تبلغ ما بين 6 آلاف كِلفن في السطح الخارجي إلى عشرة ملايين كلفِن في أعماق الكوكب. وتتم في هذا المفاعل الكوني تفاعلات نمطية للاندماج ←



4 . 1 . 1. تفاعلات الاندماج النووي

يمكننا أن نصنف تفاعلات الاندماج النووي، التي تؤدي إلى تشكل المادة (عناصر أثقل بدءاً من عناصر أقل ثقلاً)، ونشوء الطاقة في صفين اثنين، وذلك وفقاً لتفاعلات الاندماج التي تحدث. فالنمط الأول من التفاعلات يحدث بين نوى مشحونة بشحن موجبة بسبب وجود البروتونات في النواة، والتي يحمل كل واحد منها شحنة موجبة، ذلك أن البروتون يتألف من كواركين فوقيين u وكوراك تحتي d، وتساوي شحنته بالتالي +1 (يُرجع إلى الحاشية 1 . 13). أمَّا النمط الثاني من تفاعلات الاندماج النووي فيتم نتيجة امتصاص النواة للنترون.

ويحدث الاندماج النووي الحراري بين نواتين في وسط ذي حرارة عالية جداً، ويمثل إذاً الحالة النموذجية للاندماج النووي الحراري. فنوى الهدرجين لا يندمج بعضها ببعض لتشكل نوى العناصر الأثقل (الدوتِريوم أو الهليوم مثلاً، يُرجع إلى الحاشية 4 . 1) إلا في وسط تصل درجة حرارته إلى بضعة ملايين كِلفن (جوف الشمس مثلاً، حيث تبلغ درجة حرارته عشرة ملايين كلِفن). إن الحركة الحرارية للنوى في هذه الدرجة تتيح عندئذ التغلب على قوة الطرد (التنابذ) الكهربائي بين النوى المشحونة كلها بشحن موجبة. وبدهي أنَّه كلما ارتفع عدد الشحن الموجبة للنواة (أي كلما ارتفع عدد البروتونات أو ما يعرف بالرقم الذري)، كانت قوى الطرد أعظم، وتطلب حدوث الاندماج النووي حرارة أعلى للتغلب على هذه القوى. فتفاعلات الاندماج النووي منوطة مباشرة بدرجة الحرارة. فبالإضافة إلى مثال اندماج نوى الهدرجين، لتعطي دوتِريوم وهليوم مثلاً (والمشار إليها تفصيلاً في الحاشية 4 . 1)، نذكر مثال اندماج نواتي كربون-12 لتعطيا نواة مغنزيوم-24 وفوتونات غاما (الشكل 4 . 1). وكما أشرنا في مطلع هذه الفقرة، فإن تفاعلات الاندماج النووي الحراري لنواتين هو تفاعل ناشر للحرارة (للطاقة). ذلك أنَّ فرق الكتلة الذرية بين النواتين المندمجتين وبين النواة

←النووي الحراري حيث يتحول الهدرجين إلى هليوم (600 مليون طن في الثانية الواحدة)، ويتحول الفرق بين كتلة 4 نوى هدرجين وكتلة نواة الهليوم إلى-إشعاع- أي طاقة-بمعدل 400 مليون طن في الثانية الواحدة، وذلك وفقاً لمعادلة «آينشتاين» آنفة الذكر.

ويرجع الفضل في إيضاح آلية هذه التفاعلات الاندماجية النووية الحرارية، وكما كنا عرضنا غيرة مرة، إلى «هانس ألبرخت بيته» عام 1938. ويمكن تلخيص هذه التفاعلات على النحو التالي:

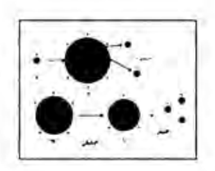
الحلقة الأولى: I. $H + H \rightarrow D + e^{+} + v$ ، II. $D + H \rightarrow {}^{3}H$ + غاما ، III. ${}^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + 2H$ + غاما

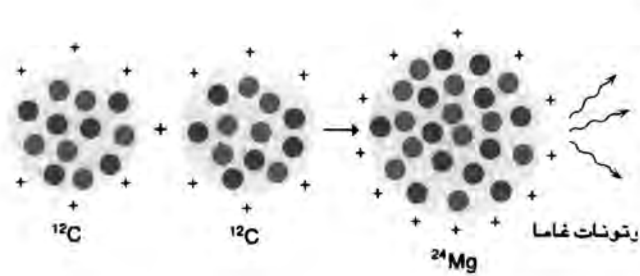
الحلقة الثانية: I. ${}^{3}H + {}^{4}H \rightarrow {}^{7}Be$ + غاما، II. ${}^{7}Be + e^{-} \rightarrow {}^{7}Li + v$ ، III. ${}^{7}Li + H \rightarrow {}^{8}Be + 2\,{}^{4}He$

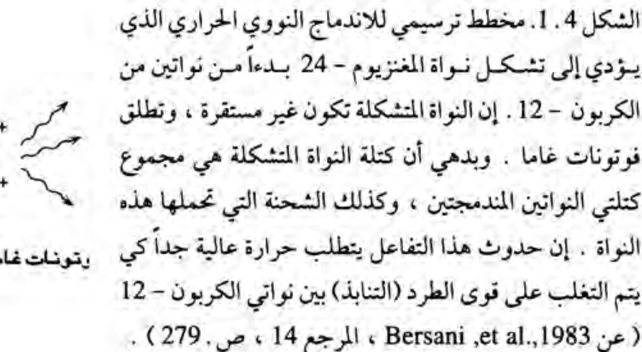
الحلقة الثالثة: I. ${}^{3}He + {}^{4}He \rightarrow {}^{7}Be$ + غاما، II. ${}^{7}Be + H \rightarrow {}^{8}Be$ + غاما ، III. ${}^{8}B \rightarrow {}^{8}Be + v \rightarrow 2\,{}^{4}He$

الحلقة الرابعة:(حلقةCNO): I. ${}^{12}C + H \rightarrow {}^{13}N$ + غاما، II. ${}^{13}N \rightarrow {}^{13}C + e^{+} + v$ ، III. ${}^{13}C + H \rightarrow {}^{14}N$ + غاما، IV. ${}^{14}N + H \rightarrow {}^{15}O + \leftarrow$ غاما، V. ${}^{15}O \rightarrow {}^{15}N + e^{+} + v$ ، VI. ${}^{15}N + H \rightarrow {}^{12}C + {}^{4}He$

(يرمز الحرف D إلى الدوتِريوم، و Be إلى البريليوم، و Li إلى الليتيوم، و B إلى البور، وv إلى طاقة ضوئية ـ فوتونات). وكما يتضح من الحلقة الأولى، فإنه يمكن للاحتراق (تحول الهدرجين إلى هليوم) أن يكون مباشراً دونما أي تحفيز. كما يمكن للهليوم نفسه أن يحفز الاحتراق الاندماجي، وذلك كما يحدث في الحلقتين الثانية والثالثة من تفاعلات الاندماج النووي الحراري. أو أن يتم التحفيز بوساطة نواة الكربون أو الآزوت أو الأكسجين، وذلك كما يحدث في الحلقة الرابعة (حلقة CNO التي اكتشفها أيضاً «هانس ألبرخت بيته» عام 1939 بالتعاون مع «فيكتور فون وايزاخر» Viktor von Weizsächer). ولقد اتضح، في ما يتعلق بكوكب كالشمس، أن 60 في المئة من الطاقة المتحررة ينتج عن الحلقة الأولى (حلقة الاحتراق المباشر)، وهذا ما يعادل 600 مليون طن من الهدرجين تحترق في كل ثانية متحولة إلى هليوم. أما القسم المتبقي من الطاقة (40 في المئة، وتعادل 400 مليون طن في كل ثانية)، فيأتي من سلسلة تفاعلات الحلقة الثانية (24 في المئة)، ومن سلسلة تفاعلات الحلقة الثالثة (1 في المئة فقط)، ومن سلسلة تفاعلات الحلقة الرابعة - حلقة CNO - (15 في المئة). ولا بد من التذكير من جديد بأن هليوم الكواكب نشأ أساساً (كهدرجين هذه الكواكب) مع نشوء الكون، وأنَّ هذه التحولات لا تسهم إلا بمقدار ضئيل جداً بمخزون الكون من الهليوم (الذي يبلغ 24 في المئة، في حين أنَّ مخزون الهدرجين يبلغ قرابة 76 في المئة).



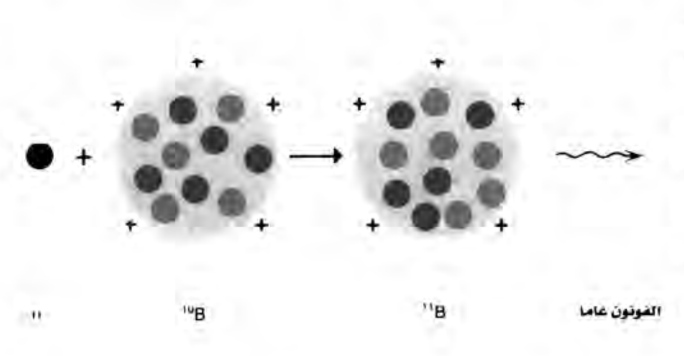




الشكل 4 . 1 . مخطط ترسيمي للاندماج النووي الحراري الذي يؤدي إلى تشكل نواة المغنزيوم - 24 بدءاً من نواتين من الكربون - 12 . إن النواة المتشكلة تكون غير مستقرة ، وتطلق فوتونات غاما . وبدهي أن كتلة النواة المتشكلة هي مجموع كتلتي النواتين المندمجتين ، وكذلك الشحنة التي تحملها هذه النواة . إن حدوث هذا التفاعل يتطلب حرارة عالية جداً كي يتم التغلب على قوى الطرد (التنابذ) بين نواتي الكربون - 12 (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 279) .

المتشكلة يتحول إلى طاقة وفقاً لمعادلة «آينشتاين» $E=mc^2$ التي أشرنا إليها غير مرة . وتجدر الإشارة إلى أن تفاعلات الاندماج النووي لا تحرر الطاقة إلاَّ إذا كان التفاعل يتناول تشكل نوى أقل ثقلاً من نواة الحديد (شديدة الاستقرار) .

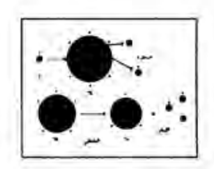
أما النمط الثاني من تفاعلات الاندماج النووي، فيتمثل بامتصاص النواة لنترون (الشكل 4 . 2) . ويُعَدُّ هذا النمط من تفاعلات الاندماج النووي طريقة ناجعة في تشكيل نوى أثقل من نواة الحديد . وبالنظر إلى أن النترون عديم الشحنة (يتألف من كواركين تحتيين d وكوارك فوقي u - يُرجع إلى الحاشية 1 . 13)، فإن اندماجه بنواة العنصر يكون أكثر سهولة من اندماج نواتين تخضعان لقوى طرد (تنابذ) كهربائي. وفي الحقيقة، فإنَّ تفاعل اندماج النترون بالنواة يتم في درجات حرارة منخفضة نسبياً يمكن تحديدها مسبقاً . بيد أنَّ هذا الاندماج مقيد بعمر النترون، الذي لا يتجاوز اثنتي عشرة دقيقة، وبالتالي

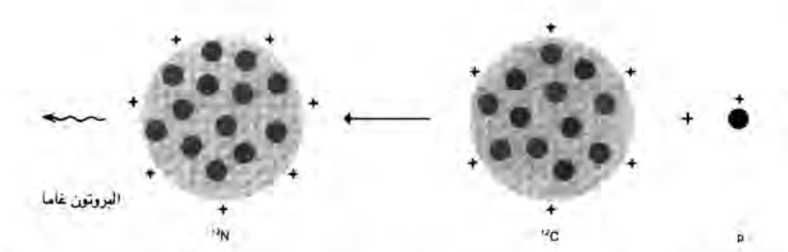


الشكل 4 . 2 . مخطط ترسيمي لتفاعل امتصاص نترون من قبل نواة أحد العناصر (وهنا نواة البيريليوم - 10) . يؤدي هذا الامتصاص إلى تشكل نواة البيريليوم-11غير المستقرة، التي تصدر فوتونات غاما . إن حدوث هذا التفاعل يتم بدرجة حرارة عادية بسبب انعدام شحنة النترون ، ويؤدي إلى تشكل نوى أثقل من نواة الحديد . وفي الواقع ، كلما انخفضت درجة الحرارة نسبياً كلما حدث التفاعل بسرعة أكبر (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص . 279) .

فإنَّ الاندماج لا يحدث إلاَّ حين يتم إنتاج عدد كاف من النترونات، وذلك كما يحدث في القنبلة الذرية، وفي المفاعل النووي(2.4). وأخيراً تجدر الإشارة إلى تفاعل اندماج نووي حراري نمطي آخر، إنما يحدث نتيجة اندماج بروتون (ذي شحنة موجبة بطبيعة الحال) بنواة الكربون -12 مثلاً ليتشكل عنصر أثقل هو الآزوت -13 (الشكل 4 . 3) . وبالنظر إلى أن البروتون ونواة الكربون -12 موجبا الشحنة، فإن التفاعل لا يحدث إلاَّ بدرجة حرارة تبلغ على الأقل عشرة ملايين كِلفن، حيث تتغلب طاقة هذه الحرارة على قوة الطرد (التنابذ) الكهربائي. ويترافق هذا الاندماج (كما سبق أن عرضنا في حال

(2.4) يعتمد مبدأ صنع القنبلة الذرية [29] على استثارة تفاعلات نووية انشطارية متلاحقة استثارة عنيفة. وتتم هذه الاستثارة بجعل كتلة معينة من البلوتونيوم -239 تنتقل انتقالاً مفاجئاً وعنيفاً إلى وضع حرج جداً، ينجم عن التغيير المفاجئ لنسبة حجم كتلة البلوتونيوم إلى سطح هذه الكتلة. إنَّ النترونات المنطلقة من البلوتونيوم، يصطدم كل واحد منها بنواة اليورانيوم-235 الذي يوجد جنباً إلى جنب مع البلوتونيوم، ـــ





الشكل 4 .3. مخطط ترسيمي لتفاعل امتصاص بروتون من قبل نواة أحد العناصر (وهنا نواة الكربون - 12) . يؤدي هذا الامتصاص إلى تشكل نواة النتروجين (الآزوت) -13 غير المستقرة التي تصدر فوتونات غاما (عن Bersani ,et al.,1983، المرجع 14 ، ص. 279) .

تشكل نوى الهليوم من نوى الهدرجين، وتشكل نواة المغنزيوم -24 من اندماج نواتي كربون -12) بتحول فرق الكتلة الذرية (بين النواتين المندمجتين والنواة المتشكلة) إلى طاقة، تتمثل بفوتونات غاما وذلك وفقاً للمعادلة $E=mc^2$

4 .1 .2. تفاعلات التلاشي الضوئي

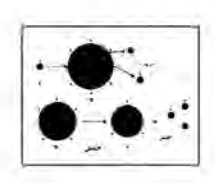
كما كنا عرضنا في مستهل هذه الفقرة، فإنَّ تفاعلات التلاشي الضوئي، تمثل النمط المعاكس لتفاعلات الاندماج النووي من حيث الكتلة الذرية لنتاج التفاعل، ومن حيث طاقة هذا التفاعل. ففي الاندماج النووي الحراري النمطي (اندماج نوى الهدرجين أو الكربون مثلاً)، يؤدي الاندماج إلى الانتقال من العناصر الأقل كتلة ذرية إلى العناصر الأعلى كتلة ذرية. أمَّا في التلاشي الضوئي، فيتم الانتقال من عناصر أعلى كتلة ذرية إلى عناصر أخفض كتلة ذرية. وفي حين

←والذي يعمل هو الآخر كمصدر للنترونات. إنَّ امتصاص النترون من قبل هذه النواة يؤدي إلى تشكل نواة اليورانيوم-236 عديمة الاستقرار، فتنشطر هذه آنياً إلى نواتي بروم-85 ولنتانوم-148، محررة ما بين نترونين وثلاثة نترونات، تُمتص بدورها من قبل نوى اليورانيوم-235 لتتحول هذه إلى نوى اليورانيوم-236، تنشطر بدورها آنياً لتحرر كل واحدة منها 2 إلى 3 نترونات، وهكذا. وتتضخم هذه التفاعلات على نحو متسلسل كالشلال وبسرعة مذهلة، مولدة القوة الهائلة للانفجار النووي في أثناء أجزاء قليلة من الثانية. وتجدر الإشارة إلى أنَّ سلسلة التفاعلات الانشطارية هذه التي يستهلها البلوتونيوم (بسبب التغيير المفاجئ والعنيف لنسبة حجم كتلته إلى سطحها) إنما تحدث بسبب اشتعال مواد شديدة الانفجار (توضع مع كتلة البلوتونيوم)، مسببة تغيير نسبة الحجم إلى السطح. وبالإضافة إلى الشدة الهائلة للانفجار (تكافئ انفجار ملايين الأطنان من مادة TNT - التلوين ثلاثي النترات trinitrotoluene)، فإن التفاعلات النووية تولد أشعة غاما التي تحدث تكسراً شديداً لصبغيات الخلايا (يُرجع إلى الحاشية 6.1). أمَّا البلوتونيوم-239، فيتشكل بدءاً من اليورانيوم-238 (غير المشع) المخصب باليورانيوم-235 الذي تحرر نواته النترونات. ويتم هذا التشكل وفقاً للتفاعلات التالية:

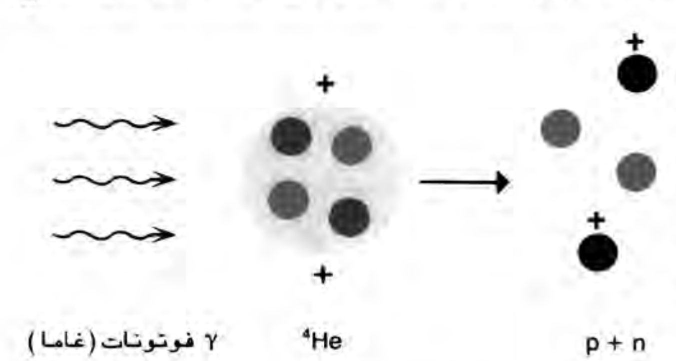
$$^{238}_{92}U + 1n \rightarrow {}^{239}_{92}U + \text{غاما} \rightarrow {}^{239}_{93}Np + \text{بيتا} \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + \text{بيتا}$$

ويوضع في المفاعلات النووية الحديثة (بالإضافة إلى اليورانيوم-238 المخصب باليورانيوم-235)، يوضع البلوتونيوم-239، ذلك أنَّ هذه المفاعلات تنتج مواد انشطارية أكثر مما تستهلك منها. إنَّ النترون المنطلق من البلوتونيوم-239 يُحوِّل (كما هي الحال في القنبلة الذرية) اليورانيوم-235 إلى يورانيوم-236، فتنشطر نواة هذا العنصر آنياً، وتحرر ما بين 2 إلى 3 نترونات (وسطياً 2.5 نتروناً). ويُستهلك واحد من هذه النترونات لاستمرارية التفاعلات النووية في المفاعل، في حين يحول النترونان (نترون ونصف) اليورانيوم-238 إلى بلوتونيوم-239 وذلك وفقاً لسلسلة التفاعلات الثلاثة المبينة أعلاه. وهكذا، فإنه يتم في هذا النمط من المفاعلات، وبالإضافة إلى توليد الطاقة، إنتاج عناصر انشطارية أكثر مما يستهلك المفاعل. وكما يتضح مما سبق، فلا حاجة (في هذا النمط من المفاعلات) إلى امتصاص بعض النترونات المتحررة، أو إبطاء سرعتها، وذلك كما يحدث في المفاعلات العادية، حيث يقوم الغرافيت والماء الثقيل بامتصاص بعض النترونات، وإبطاء سرعة بعضها الآخر.

29. Rhodes , R., " **The Making of the Atomic Bomb**", Simon and Schuster, London (1986).

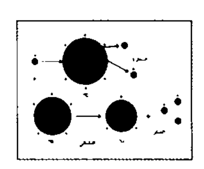


أنَّ الاندماج النووي الحراري هو تفاعل ناشر للحرارة، فإنَّ التلاشي الضوئي هو تفاعل ماص للحرارة، ولا يتم إلاَّ في درجات عالية جداً من الحرارة، تتيح تحطم النواة، وتدركها (تفككها) إلى مكوناتها. ويجب ألاَّ تقل درجة الحرارة (التي تكون على شكل فوتونات غاما) عن أربعة مليارات كِلفن. ففي درجة حرارة من هذه الرتبة، يكون تدفق (جريان) الفوتونات شديداً جداً، ومتناسباً (وفقاً لقانون «بلانك» ذي العلاقة بإشعاع الجسم الأسود، يُرجع إلى الفقرة 3.1.3 والحاشية 3.2) مع درجة الحرارة مرفوعة للقوة 4. وكمثال على هذا التناسب، نذكر أنه إذا ما ارتفعت درجة الحرارة إلى الضعف (أي $T \times 2$)، فإن تدفق الفوتونات يزداد 16 مرة (أي $f \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ ؛ أي 16 جداء f)، حيث ترمز T إلى درجة الحرارة، و f إلى تدفق الفوتونات في تلك الدرجة. وإذا تضاعفت T ثلاث مرات (أي كانت 2 مليار وأصبحت 8 مليارات كِلفن)، فإن تدفق الفوتونات يصبح $f \times 3^4$، أو $f \times 81$. وإذا كانت درجة الحرارة 3 مليارات كلفن، يسبب تدفق الفوتونات عندئذٍ انشطار السيليسيوم (السيليكون)-28 إلى المغنزيوم -24 ونواة الهليوم. هذا، ويوضح الشكل 4.4 انشطار نواة الهليوم (بروتونان ونترونان مندمجة في كينونة واحدة) إلى بروتونين ونترونين، منفصل كل واحد منها عن الآخر. إن حدوث هذا الانشطار يقتضي تزويد الجملة بطاقة (فوتونات غاما)، تعادل فرق الكتلة الذرية بين مجموع



الشكل 4.4. مخطط ترسيمي لأحد أنواع تفاعلات التلاشي الضوئي. إن قصف نواة الهليوم-4 بفوتونات غاما يؤدي إلى تفكك هذه النواة لتعطي بروتونين ونترونين. إن هذا التفاعل (الذي يعاكس الاندماج النووي) هو تفاعل ماص للحرارة. وبتأثير من الفوتونات التي تتشكل بدلالة درجة الحرارة مرفوعة للقوة أربعة (قانون «بلانك»)، فإن النواة تتفكك إلى مكوناتها (عن Bersani ,et al.,1983، المرجـع 14، ص. 279).

كتلتي البروتونين والنترونين المستقل الواحد منها عن الآخر، وبين كتلة نواة الهليوم. إن حدوث هذا التفاعل يؤدي إلى تحول الطاقة (فوتونات غاما التي تعادل 180 مليار جول) إلى مادة (تعادل فرق الكتلة). ويحتاج هذا التلاشي الضوئي كي يحدث إلى درجة حرارة تفوق كثيراً درجة حرارة جوف الشمس، وتبلغ بضعة مليارات كِلفن، ويزداد (كما كنا عرضنا منذ قليل) تدفق الفوتونات بمقدار ازدياد درجة الحرارة مرفوعاً للقوة 4. وتجدر الإشارة إلى أننا كنا عرضنا في مطلع هذه الفقرة إلى تفاعل الاندماج النووي الحراري لتحول نوى الهدرجين إلى نوى الهليوم، وإلى تفاعل التلاشي الضوئي المعاكس، الذي يؤدي إلى تحول نواة الهليوم إلى نوى الهدرجين؛ أي تفاعل تحول المادة إلى طاقة، وتفاعل تحول الطاقة إلى مادة (يُرجع إلى الحاشية 1.8 للوقوف على تحول المادة إلى طاقة وإلى الفقرة 3.1.3، التي تعالج موضوع إشعاع الجسم الأسود، وتحول الطاقة إلى مادة). وفي حين أنَّ تفاعلات الاندماج النووي الحراري تحدث حالياً في جوف النجوم (القسم المركزي من الشمس مثلاً)، وكانت قد حدثت في المراحل الأولى من حدوث الانفجار الأعظم، فإنَّ تفاعلات التلاشي الضوئي لا تحدث إلاَّ في حالات نادرة، حيث تصل درجة الحرارة إلى بضعة مليارات كِلفن. وبدهي أن تُعَدُّ هذه التفاعلات مسؤولة عن ظاهرة تشكل المستعرات الفائقة supernova (يُرجع إلى الفقرة 1.3.3).



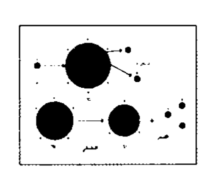
2.4. السيرورات النووية وابتناء العناصر

كما كنا أشرنا غير مرة، فإنَّ الركام الكمومي الذي نتج عن الانفجار الأعظم، كان يتألف من أوتار غشائية حويصلية ومن جسيمات غريبة غير عادية، يفترض أن تكون الغرافيتونات (رسل أو حوامل قوة الثقالة)، والغليونات (رسل أو حوامل القوة النووية الشديدة)، والفوتونات (رسل القوة الكهرطيسية)، ومضادات الغرافيتونات و الغليونات والفوتونات قد شكلت الجزء الأساسي من هذا الركام، حيث تتوحد قوى الطبيعة الأربع في قوة واحدة متفردة، تعطي الركام الكمومي بنية وترية غشائية حويصلية، تمتلك فيها متصلة المكان-الزمن أحد عشر بعداً. وعندما تبردت درجة حرارة الركام الكمومي إلى الدرجة 10^{25} أي عشرة ملايين مليار مليار درجة مطلقة أو كِلفن (أي ما يعادل طاقة قدرها 10^{21}؛ أي ألف مليار مليار إلكترون فولط، يُرجع إلى الجدول 2.1)، سمحت عندئذ درجة حرارة الجملة (وبفعل قوة الثقالة) بتشكل الكواركات (مكونات نوى العناصر) التي يعرف منها الآن ستة أنواع ذات «نكهات» مختلفة (يُرجع إلى الحاشية 13.1).

ولقد قسر التطور الموجه ذو المعنى هذه الكواركات على الانتظام، وذلك عندما انخفضت درجة حرارة الكون الآخذ بالتشكل إلى الدرجة 10^{11}، أي ألف مليار كِلفن (تشتق الطاقة المكافئة لدرجة حرارة ما، كما سبق أن عرضنا غير مرة، بمضاعفة هذه الدرجة بثابتة بولتزمان، أي 0.00008617 يُرجع إلى الفقرة 3.1.3 والحاشية 3.3). إن كواركات (أو نوى عناصر هذا الكون) تشكل قسماً ضئيلاً نسبياً من الكواركات التي كانت موجودة عندما كانت درجة حرارة الكون تساوي 10^{13} درجة مطلقة أو كِلفن (كان عمر الكون الوليد آنذاك يساوي جزءاً من مليون؛ أي 10^{-6} من الثانية)، وحيث نجت هذه الكواركات من تفاني معظم كتلة الكواركات بمضاداتها بسيرورة أصبحت تعرف بمذبحة الكواركات. وانتظم كواركان فوقيان وكوارك تحتي ليتشكل البروتون ذو الشحنة الموجبة 1 (نواة الهدرجين)، وانضم كواركان تحتيان إلى كوارك فوقي، ليتشكل النترون عديم الشحنة (أو حيادي الكهربائية، يُرجع إلى الحاشية 13.1).

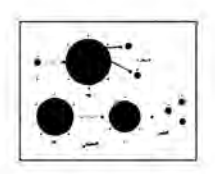
وعندما أصبح عمر الكون المتنامي ثلاثة آلاف عام، وتبردت درجة الحرارة إلى ألف كِلفن (أصبحت طاقة الجملة تكافئ 0.1 إلكترون فولط)، توقف تحطم الذرات (التي كانت تتكون فوق هذه الدرجة، لتتلاشى من جديد)، وسمحت القوة النووية الضعيفة والقوة الكهرطيسية للبروتونات (ذات الشحنة الموجبة) بأن تقيم علاقة مع الإلكترونات، تؤدي إلى التخلص من الحقول الكهربائية متعاكسة الشحنة، والوصول إلى حالة التعادل (بين البروتونات الموجبة والإلكترونات السلبية، هذه الإلكترونات التي كانت تهيم على غير هدى منذ أن أصبح عمر الكون يقارب أجزاء قليلة من الثانية - يُرجع إلى الفقرة 4.1 والجدول 2.1). فعمدت البروتونات إلى أسر الإلكترونات، لتدور في فلكها إلى الأبد. وهكذا، تشكلت (ولأول مرة في تاريخ الكون) ذرة الهدرجين ومن ثم الدوتِريوم، فالهليوم (يُرجع إلى الفقرة السابقة وكذلك الحاشية 8.1).

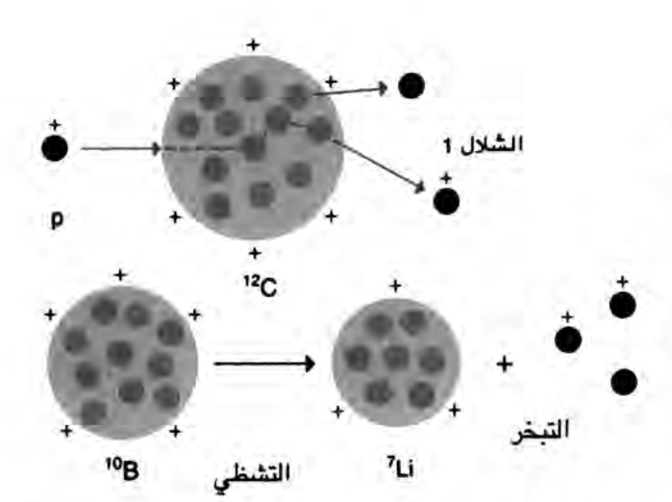
وكما كنا عرضنا في الفقرة 3.2.3 فإنَّ النجوم والمجرات شرعت بالتكون بدءاً من سحب غازي الهدرجين والهليوم وما يعرف بالغبار الكوني (أو السديم الكوني) في إثر مرور مليار عام على حدوث الانفجار الأعظم. ومع أنَّ قوة هذا الانفجار نثرت الهدرجين والهليوم نثراً متجانساً (على المستوى الكِبري) في أرجاء الكون كافة، فإنَّ جزراً (على



المستوى الصغري) نشأت هنا وهناك، كانت فيها كثافة الهدرجين والهليوم والركام الكوني أعلى بما لا يزيد على جزء من مئة ألف جزء من غيرها، فشكلت بذور مجرات الكون الحالي ونجومه. وبتأثير من قوة الثقالة أولاً، وقوة العزم الزاوي (القوة الناجمة عن دوران الجسم حول نفسه وفقاً لمحور معين، كما يحدث للمتزلق على الجليد عندما يضم ذراعيه إلى صدره في أثناء دورانه حول نفسه) ونشوء أقراص التضخم ثانياً - يُرجع إلى الحاشية 3.9-، أخذت السحب في تلك النقاط (ذات الكثافات الأعلى) بالارتصاص على نفسها، وشرعت درجات الحرارة في أجوافها بالارتفاع. وكما كنا أشرنا غير مرة (يُرجع إلى الفقرتين 1.4 و 3.2.3)، فإن هذا الارتفاع في درجة الحرارة مهد السبيل أمام التحولات النووية بين الطاقة والمادة لتقيم سيرورة ما يعرف بالتركيب النووي. وتمثل هذا التركيب بآليتين متعاكستين تقريباً، هما: تفاعلات الاندماج النووي الحراري التي تنتهي تقريباً بتكون الحديد المعروف بشدة ثبات نواته واستقرارها (يُرجع إلى الفقرة السابقة 1.4 وبخاصة الفقرة 1.1.4). أما الآلية الثانية، فتتمثل بسيرورة التلاشي الضوئي، حيث يتم تكون بعض العناصر ذات الكتل الذرية الخفيفة نسبياً، والتي تقع بين النيون والحديد والهليوم (يُرجع أيضاً إلى الفقرة السابقة، وبخاصة الفقرة 2.1.4). ويمكن للعناصر الأثقل من الحديد أن تتشكل باندماج نووي (غير حراري عادة)، يتم بين النترون ونواة عنصر آخر (كالبور -10)، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل البور-11 (يُرجع إلى الشكل 2.4)، أو بالاندماجات النووية التي تتم بين النترون ونواة اليورانيوم-235 أو اليورانيوم-238 وذلك كما يحدث في التفاعلات النووية الاندماجية والانشطارية التي تتم عند انفجار القنبلة الذرية، أو في المفاعل النووي (يُرجع إلى الفقرة 1.1.4 وإلى الحاشية 2.4). وفي حين أن تفاعلات الاندماج النووي الحراري كانت قد حدثت في أثناء ولادة الكون (تحول الهدرجين والدوتريوم إلى هليوم وعناصر أخرى، يُرجع إلى الحاشية 1.4)، وتحدث حالياً في بواطن النجوم، وفي حين أنَّ تفاعلات امتصاص النترونات تحدث في الأقسام المركزية من النجوم وفي المستعرات الفائقة (النجوم الضخمة التي يحدث فيها تنكس إلكتروني ونتروني، يُرجع إلى الفقرة 1.3.3)، وفي حين أن سيرورات التلاشي الضوئي تحدث في المستعرات الفائقة أيضاً، بالإضافة إلى كل هذا، فإن هنالك نمطاً رابعاً من التفاعلات النووية يعرف بتفاعلات التشظي النووي nuclear spallation، spallation nucléaire.

ويتم في هذا النمط من التفاعلات (التي تحدث في الوسط بين النجوم -نتيجة قصف نوى عناصر الركام - الغبار- أو السديم الكوني بالأشعة الكونية -، وعلى سطوح النجوم النشيطة)، تتم هذه التفاعلات إذاً عندما يقصف بروتونٌ (موجبة الشحنة بطبيعة الحال)، ذو طاقة عالية جداً عنصراً ما كالكربون -12 مثلاً (إن النواة تكون موجبة الشحنة دائماً بسبب الشحنات الموجبة للبروتونات التي تدخل في بنية النواة). إنَّ هذا البروتون يشظي نواة الكربون -12 إلى نواة البور -10 وإلى بروتون ونترون. وتتشظى نواة البور -10 بدورها إلى نواة الليتيوم -7 وإلى بروتونين ونترونين (الشكل 5.4). وتتناول تفاعلات التشظي النووي كلاً من الكربون والآزوت والأكسجين ونوى أخرى أعلى كتلة ذرية. وتتشكل نتيجة هذا التشظي عناصر كالليتيوم -7 (علماً بأن النوى الخفيفة ذات الرقم الذري -مجموع البروتونات- الوتري أو الفردي، أي 5، 7، 9، 11،لا تتشكل عادة باندماجات نوى الهدرجين أو الدوتريوم بالهليوم أو باندماجات نوى الهليوم بعضها ببعض)، والبريليوم -7 والبريليوم -8 والبور-10.



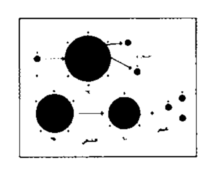


الشكل 4 .5. مخطط ترسيمي لتفاعل التشظي النووي (تفاعل نووي ماص للحرارة، إنما من نمط آخر غير الممثل في الشكل السابق) . يؤدي قصف نواة الكربون -12 بنترون ذي طاقة عالية (أو سرعة كبيرة) إلى انتزاع بروتون ونترون، وحدوث سلسلة من التفاعلات، تنتهي بتشكيل البيريليوم -10 والليتيوم -7 ، وبتبخر بروتونين ونترون واحد (عن Bersani ,et al.,1983 ، المرجع 14 ، ص. 279) .

يمكن القول إذاً إنَّ الهدرجين والهليوم هما من صنع الانفجار الأعظم، في حين أن العناصر الأخرى كافة هي من صنع النجوم والركام أو السديم -الغبار- الكوني الموجود بينها، وكذلك بين المجرات نفسها. وإنَّ هذه العناصر تتكون بالتفاعلات الأربعة التالية:

ـ **الاندماج النووي الحراري**، ويتناول العناصر الكائنة بين الهدرجين والحديد. وتتكون نتيجة هذه الاندماجات النووية العناصر الموجودة بين الهليوم والحديد الذي تنهي نواته (بثباتها واستقرارها الشديدين) سلسلة الاندماجات النووية الحرارية (يُرجع إلى الحاشية 4. 1 إذ من البدهي أن يمثل ما يحدث في الشمس من احتراق للهدرجين مثالاً نموذجياً تقريباً للاندماجات النووية الحرارية التي تبدأ بالهدرجين والهليوم، وتنتهي بالحديد، مروراً بالعناصر المتوسطة كافة).

ولا بد من تأكيد أن تفاعلات الاندماج النووي الحراري لا تستطيع أن تكوّن عناصر أكثر ثقلاً (كتلة ذرية) من الحديد. ويعود السبب في ذلك إلى أنَّ اندماج نواتين من النيون أو من السيليسيوم أو من الكبريت، يتطلب درجة حرارة من رتبة خمسة مليارات درجة، وذلك للتغلب على قوى الطرد الكهربائي التي تقوم بين هاتين النواتين التي لكل منهما شحنة موجبة قوية نسبياً (انظر الفقرة التالية 4. 3- تفاعلات اندماج الكربون والأكسجين). ففي درجة حرارة من هذه الرتبة، تتفوق تفاعلات التلاشي الضوئي على تفاعلات الاندماج النووي الحراري، وتتدرك (تتفتت) النواتان (بسبب فوتونات غاما ذات التواتر المنخفض جداً وذات الطاقة شديدة الارتفاع التي تنجم عن ظاهرة إشعاع الجسم الأسود- يُرجع إلى الفقرة 3. 1. 3)، تتدرك النواتان إذاً إلى نوى أصغر عوضاً عن أن تندمجا في نواة واحدة. لذا، فإن العناصر الأثقل من الحديد، تتكون بصورة أساسية من تفاعلات امتصاص النترون التي تحدث -كما سبق أن عرضنا- في جوف النجوم النشيطة، وتلك الآخذة بالانفجار (وبخاصة المستعرات الفائقة). هذا، ويمكن تصنيف نظائر العناصر الثقيلة في ثلاثة صفوف: I. العناصر التي تحوي نواتها عدداً منخفضاً نسبياً من النترونات، والتي تتكون نتيجة امتصاص نواة عنصر ثقيل للبروتون. II. العناصر التي تتكون نتيجة امتصاص النواة فيها امتصاصاً بطيئاً للنترون. III. العناصر التي تتكون نتيجة امتصاص النواة فيها امتصاصاً سريعاً للنترون. وتجدر الإشارة إلى أنَّ احتراق الهدرجين والهليوم في النجوم الحمر العملاقة (التي تفوق كتلتها آلاف المرات كتلة الشمس)، يمكن أن يؤدي إلى حدوث أحد التفاعلين التاليين اللذين يوفران نترونات قابلة للامتصاص من قبل عناصر أخرى:



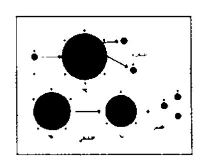
نترون + ^{25}Mg ⟵ نواة هليوم + ^{22}Ne أو نترون + ^{16}O ⟵ نواة هليوم + ^{13}C

ولابد من الإشارة أخيراً إلى أن عدد النظائر المستقرة (غير المشعة) يزداد بازدياد الكتلة الذرية للعنصر. ونذكر، كمثال على ذلك، أنَّ لعنصر الكزينون (من الغازات النادرة) تسعة نظائر مستقرة، في حين أن للنيون (غاز نادر أيضاً) الذي هو أصغر كتلة « ذرية » من الكزينون ثلاثة نظائر مستقرة فقط. وقد ترجع هذه الظاهرة (ولو جزئياً) إلى سهولة دخول النوى الخفيفة في تفاعلات الاندماج النووي.

- **تفاعلات امتصاص النترون**، وتتناول خاصة العناصر التي تلي الحديد ثقلاً من حيث الكتلة الذرية، كما تتناول عناصر أكثر ثقلاً من الحديد بكثير. وتتكون من هذه التفاعلات العناصر ذات النوى الأعلى كتلة ذرية من الحديد التي توجد في الجدول الدوري الذي وضعه الكيميائي الروسي «ديمتري ايفانوفيتش مندلييف» Dimitri Ivanovitch Mendeleïev (1834–1907) عام 1869, وأفسح فيه مكاناً لجميع العناصر التي لم تكن معروفة آنذاك، والتي اكتُشفت فيما بعد، وأتت مطابقة تماماً لتنبؤات «مندلييف».
- **تفاعلات التلاشي الضوئي**، وتتناول العناصر الكائنة بين الكبريت والحديد. وتنشأ عن هذه التفاعلات العناصر الثابتة التي تقع بين النيون والحديد، وبين النيون والهليوم.
- **تفاعلات التشظي النووي**، وتتناول نوى كل من الكربون والآزوت والأكسجين ونوى معينة أخرى أثقل كتلة ذرية. وكما كنا عرضنا منذ قليل، فقد تنشأ عن هذه التفاعلات نوى يكون مجموع البروتونات والنترونات فيها وترياً (فردياً) كالليتيوم ـ7 والبريليوم ـ7.

4.3. الاصطناع النووي وتطور مادة الكون

يمكن، بتبسيط شديد، تعريف مادة الكون بأنها مجموع المواد التي تكون النجوم والركام الكوني (السديمي) الذي تشكلت منه أصلاً هذه النجوم، وتتمثل حالياً بالمواد التي تقع بين النجوم والمجرات. وبوسعنا، بناء على السيرورات النووية التي تحدث في النجوم؛ ومن ثم تحكم تطورها، أن نفسر بنية النجوم، وكذلك تركيب المواد التي تشكل الركام الكوني. فكما كنا عرضنا غير مرة، فإن هذا الركام الكوني يتألف بصورة أساسية من غازي الهدرجين والهليوم، ومواد غازية وجزيئية أخرى. كما أن هذا الركام الكوني (شأنه شأن النجوم) يمتلك مصدرين من الطاقة: الطاقة الثقالية (التثاقلية) التي تتحرر عندما يتكاثف الركام الكوني (أو يتقلص النجم) في إثر تغير سريع يصيب مظهر هذا الركام، والطاقة النووية التي تتحرر بصورة أساسية من التفاعلات النووية (وبخاصة الاندماجية منها) التي تحدث في أثناء تكون النجم وتقلص قسمه المركزي الذي يتسبب في ارتفاع درجة حرارة هذا القسم. فالركام الكوني يتألف إذاً (بالإضافة إلى الهدرجين والهليوم) من المواد التي تنشأ عن تشكل النجوم وتطورها، وما تقذف به عند انفجارها كمستعرات فائقة (يُرجع إلى الفقرة 3.3.1). وكما كنا عرضنا عند حديثنا عن تكون المجرات (يُرجع إلى الفقرة 3.2.3)، فإن هذا الركام يتألف (بالإضافة إلى العناصر والمركبات التي تقذف في الفضاء عند انفجار النجوم الضخمة) من سحب الهدرجين وقرابة 56 مركباً (يُرجع إلى الجدول 3.1). وتجدر الإشارة إلى أنه تم الكشف في مواد النيازك عن أكثر من سبعين مركباً من الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات. ويكون معظم هذه المركبات موجوداً بكميات ضئيلة جداً إذا ما قورنت بتراكيز الهدرجين الذري والمتأين.



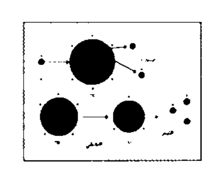
وبدهي أن الغالبية العظمى من المواد الواردة في الجدول المشار إليه آنفاً إنما نشأت نتيجة حدوث تفاعلات كيميائية، تحرض على حدوثها الأشعة (و بخاصة فوتونات أشعة غاما والأشعة السينية) التي تنبعث من احتراق مواد النجوم من جهة، ومن انفجار ما هو ضخم منها من جهة أخرى. فتطور النجوم (وبالتالي تطورالركام الكوني الذي كان يمكن أن يبقى مقتصراً على سحب الهدرجين أساساً والهليوم هامشياً) مسؤول عن بنية هذا الركام كما يوجد حالياً في الكون والذي يؤدي (بتأثير من قوة الثقالة، وقوة العزم الزاوي، ونشوء أقراص التضخم، يُرجع إلى الفقرة السابقة 2.4) إلى ولادة النجوم الجديدة (تلد وسطياً في مجرتنا، مجرة درب التبانة، ثلاثة نجوم في العام الواحد). وهكذا، يمكن القول إن نشوء الركام الكوني وبنيته (ما عدا سحب الهدرجين) منوط أساساً بتطور النجوم والمجرات. وبدهي أن يشتمل هذا التطور على التفاعلات النووية الحرارية الاندماجية التالية [14]:

ـ **تفاعلات اندماج الهدرجين إلى هليوم**، وتحدث في القسم المركزي من النجم (يُرجع إلى الحاشيتين 1.8 و 1.4 حيث تعتبر الشمس مثالاً نموذجياً لهذه الاندماجات)، وتشتمل (كما كنا عرضنا) على أربع حلقات رئيسة (يُرجع أساساً إلى الحاشية 1.4)، تنتهي بتكون العناصر التالية التي يترافق حدوثها مع تشكل مقدار معين من الطاقة، وبخاصة فوتونات غاما: **1.** الدوترِيوم والتريتيوم والهليوم ـ4 (الحلقة الأولى). البريلوم ـ7 والليتيوم ـ7 والهليوم ـ4 والبريليوم-8 (الحلقة الثانية). **2.** البريلوم ـ7 والبريليوم ـ8 والهليوم ـ4 (الحلقة الثالثة). **3.** الآزوت ـ13 والكربون ـ13 والآزوت ـ14 والكربون ـ12والهليوم ـ4 والآزوت ـ15 والأكسجين ـ15 (الحلقة الرابعة أو حلقة CNO).

وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أنَّ الفرق المهم نسبياً بين أربع نوى من الهدرجين ونواة الهليوم (يرجع إلى الحاشية 1.8)، والتباطؤ الكبير في سيرورة تحول ذرتين من الهدرجين إلى ذرة دوترِيوم، يفسران لماذا تبقى إضاءة النجوم (الشمس مثلاً) والحرارة المنبعثة منها ثابتتين نسبياً في خلال فترة تصل إلى عشرة مليارات عام تقريباً (كما كنا عرضنا غير مرة، فإن الشمس وكواكب مجموعتها، ولدت قبل أربعة مليارات عام ونصف المليار، وسيمتد أجلها خمسة مليارات سنة أخرى تقريباً، وإن الشمس تحرق في الثانية الواحدة مليار طن من الهدرجين: 600 مليون طن منها تتحول إلى هليوم، و 400 مليون طن تتحول إلى طاقة إضاءة وحرارة، وتبلغ درجة حرارة جوف الشمس عشرة ملايين كلفِن أو درجة مطلقة). وكما يتم في الحلقات التحفيزية (كحلقة CNO)، فإن كمية العناصر المتكونة نتيجة حدوث التفاعلات شديدة البطء (كالآزوت ـ14 مثلاً) تزداد على حساب العناصر الأخرى المكونة للحلقة.

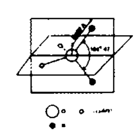
ـ **تفاعلات اندماج الهليوم إلى كربون**، وتحدث في درجة حرارة من رتبة مئة مليون كلِفن (عشر مرات أعلى من درجة حرارة مركز الشمس)، وبكثافة قدرها عشرة آلاف غرام للسنتي متر المكعب الواحد؛ أي أعلى بكثير مما يحدث في حالة تفاعلات اندماج الهدرجين إلى هليوم. وتحدث هذه التفاعلات في الأقسام المركزية من النجوم الحمر العملاقة. وكما كنا عرضنا (يُرجع إلى الفقرة 3.2.3)، فإن عمر النجم (وليس تركيبه فقط) منوط بحجمه. فكلما كبرت كتلة النجم كلما استنفد وقوده من الهدرجين والهليوم بسرعة أكبر. فالنجوم الحمر العملاقة تحيا، بسبب تفاعلات اندماج الهليوم إلى كربون، بضعة ملايين السنين، في حين أن النجوم الأصغر (كالشمس مثلاً) تعيش متوقدة مليارات السنين.

ـ **تفاعلات اندماج الكربون والأكسجين**، وتحدث في القسم المركزي من النجوم ذات الحجوم المفرطة في كتلها. ولقد أدت دراسة التفاعلات الاندماجية، التي تحدث في هذه النجوم فوق العملاقة إلى فهم الآلية التي تسبب قصر عمر النجم



مع تزايد كتلته. فالفرق بين كتلة النواة الأم المندمجة (الكربون أو الأكسجين مثلاً)، وكتلة النواة البنت (التي تنتج عن الاندماج)، يتناقص مع تزايد كتلة النواة موضوع تفاعل الاندماج؛ الأمر الذي يؤدي (بسبب تضاؤل فرق الكتلة) إلى تحرر طاقة يقل مقدارها تدريجياً. ونذكر، كمثال على ذلك، أن الطاقة المتحررة نتيجة تفاعلات اندماج كتلة معينة من الكربون أو الأكسجين هي أقل بمئة مرة من اندماج الكتلة نفسها من الهدرجين لتعطي الهليوم. أمَّا السبب الثاني لقصر أجل النجوم، فيتمثل في أن الكتلة البدئية (التي تُستهل فيها التفاعلات الاندماجية) تكون في حالتي الكربون والأكسجين مثلاً أقل بكثير من كتلة الهدرجين البدئية. ويتجسد السبب الثالث في أن هذه التفاعلات الاندماجية التي تحدث للكربون أو للأكسجين إنما تتم في درجة حرارة عالية جداً (من رتبة المليار درجة). وتأخذ الطاقة المتحررة في هذه الدرجة المرتفعة من الحرارة شكل جُسيمات النترينو ذي الكتلة الضئيلة (يُرجع إلى الحاشية 1.14)، والتي لا تدخل إلاَّ بتأثرات نادرة مع المادة، وذلك خلافاً للفوتونات التي تنطلق نتيجة تفاعلات اندماج الهدرجين والتي تتأثر بشدة مع المادة.

وتجدر الإشارة إلى أن بوسع الكربون أن يتحول إلى نيون / مغنزيوم، والأكسجين إلى سيليسيوم / كبريت. أما في ما يتعلق بالعناصر الأشد ثقلاً من النيون، فلا تتحقق تفاعلات الاندماج المؤدية إلى تشكلها إلا في درجة حرارة من رتبة خمسة مليارات درجة، حيث تتفوق تفاعلات التلاشي الضوئي على تفاعلات الاندماج النووي الحراري. وهذا ما يحدث بالفعل في محاولات دمج نواتين من المغنزيوم، أو من السيليسيوم، أو من الكبريت. إن درجة الحرارة الضرورية (نظرياً) لإحداث هذا الاندماج (وهي أكثر من خمسة مليارات درجة، كي يصبح بالإمكان التغلب على قوى الطرد التي تمارسها النواة الواحدة على النواة الأخرى بسبب الشحن الموجبة التي تحيط بكل منها)، إن درجة الحرارة هذه تسبب إذاً سيادة تفاعلات التلاشي الضوئي على تفاعلات الاندماج النووي، فتتدرك (تتفكك) النواتان إلى نوى أصغر عوضاً عن أن تندمجا في نواة واحدة أكبر. ولا بد من الإشارة هنا إلى أن تكون العناصر الثقيلة (التي تلي الحديد) يتم بتفاعلات امتصاص النترون (يُرجع إلى الفقرة السابقة 2.4 - تفاعلات امتصاص النترون).



الفصل الخامس

الماء ودوره في نشوء الحياة

Strike me dead , the track has vanished,"
Well , what now ? we have lost the way,
Demons have bewiched our horses,
Led us in the wild astray.

What a number ! whither drift they ?
What's the mournful dirge they sing ?
Do they hail a witch,s marriage ?
Or a goblin,s burying ?

Aleksandr Sergheïevitch Pouchkine (1799-1837).

إننا متعبون. لقد تلاشى الأثر الذي نقتفيه.
حسناً، وماذا بعد؟ فلقد ضللنا الطريق.
وخيلنا التي سحرها الجن
أتاهتنا في القفار الموحشة.

يا للجموع الغفيرة! إلى أيـن ينساقون؟
ما اللحن الجنائزي الحزين الذي يرنمون؟
أيحتفون بعرس العرّافة؟
أم إنهم يوارون الجن التراب؟

«الكسندر سرغييفيتش بوشكين» (1799-1837).

5 . 1. مقدمة

الماء سحر الطبيعة، والأرض مفتونة به، فلولاه لكانت كوكباً ميتاً لا يحوي إلاّ عناصر الموات (وبخاصة الفاعليات الإشـعاعية والبركانية)، خلواً من الحياة وصور جمالها. ومنذ بدء البداية، كانت روح «أنانا» (إلهة ملحمة جلجامش، 900 2 قبـل الميـلاد تـقـريـبـاً)، تـرفـرف فـوق الأمواه (على ما يبدو مياه الفرات). كان الشوش (وفقاً لهذه الملحمة الأسطورية، ثم وفقاً للديانات السماوية كافة) يسود قبل كل شيء آخر، ويتألف من الظلمات (بما في ذلك الأمواه) والضباب. وعندما انحسر الظلام وتبدد الضباب وتراجعت مياه الطوفان، أخذ الكون بالانتظام والاتساق، وبدأت الحياة

بالتكون (يُرجع إلى الفقرة 3.2.2). وفي حين أنَّ أقوام «الإنكا» (في أمريكا الجنوبية) شيدوا معابد سامقة للشمس، فإن الهندوس لا يزالون حتى الآن يحجون إلى نهر الغانج Gange المقدس، يستحمون بمياهه لغسل الخطايا، وللتقرب من الذات الإلهية «سيفا» Shiva، أو «براهما» Brahma، أو «فيشنو» Vishnou (الآلهة الثلاثة الكبرى للهندوسية التي ترمز إلى قوى التدمير، ومن ثم قوى التجديد). وكما هو معلوم، فإنَّ فراعنة مصر كانوا يقدسون النيل واهب الحياة، ويزفون له كل عام (في موسم الفيضان) أجمل جميلات مصر، استرضاءً له[1.5]. وكما هو معروف أيضاً، فمنذ بدء بدايات الجمهرات البشرية، سعى الإنسان إلى ضفاف الأنهار، يلتمس فيها الحياة خيراً ونعمة. فالماء والحياة صنوان لا يفترقان.

وكما كنا عرضنا سابقاً (يُرجع إلى الفقرتين 3.4.2.1 و 3.4.2.2 والفقرة III الخاصة بكوكب الأرض والملحقة بالفقرة 3.4.2.2)، وبالإضافة إلى أنَّ الماء متوفر في الفضاء على شكل بخار (يُرجع إلى الجدول 3.1)، فهو موجود على شكل كتل جليدية مدفونة في أعماق حفر كواكب المنظومة الشمسية كافةً (ما عدا الأرض بطبيعة الحال). ولقد أمكن التأكد مؤخراً من وجود هذه الجليديات حتى في الحفر العميقة الموجودة في كوكب عُطارد الأقرب إلى الشمس، وأكثر الكواكب الشمسية سخونة. وكما سبق أن أشرنا، فإن البعد المواتي للأرض عن الشمس (ثماني دقائق ضوئية تقريباً) أتاح للماء البقاء (ولو جزئياً) بحالة سائلة.

وتشير الأدلة إلى أنَّ الماء (وربما سوائل أخرى) قد سال على سطح الأرض في إثر انقضاء أقل من نصف مليار عام على ولادتها. وبالإضافة إلى المسافة المواتية والفضلى التي تفصل الأرض عن الشمس، فإنَّ الحقل الثقالي للأرض أسهم هو الآخر في استبقاء بعض جزيئات الماء بشكلها السائل. وكما كنا أشرنا في معرض الحديث عن الأرض والزُهرة (يُرجع إلى الفقرة 3.4.2.2)، فإنَّ الأرض تماثل في خصائصها كوكب الزُهرة من حيث الكتلة وكمية الكربون وتركيب الجو البدئي. وفي حين أن كربون الأرض يوجد في غالبيته في قاع المحيطات وعلى سطح الأرض على شكل مركبات كلسية، فإنَّ كربون الزُهرة موجود في جوها. وكما سبق أن عرضنا، فإنَّ جو الأرض يختلف عن أجواء كواكب المنظومة الشمسية في كونه جواً مؤكسداً، في حين أنَّ أجواء الكواكب الأخرى هي أجواء مرجعة. وقد يرجع السبب الأساسي (كما سبق أن أشرنا) في عدم وجود الماء السائل على كوكب الزُهرة إلى قربها من الشمس، وارتفاع درجة حرارة سطحها، وما ينشأ عن وجود غلاف من

(1،5) يمكن الرجوع إلى قصيدة «أحمد شوقي» (1868-1932) « النيل » للوقوف على اللوحات الجميلة التي يرسم فيها مهرجان زفاف النيل، ودور هذا النهر في الحياة والحضارة الفرعونية، والتي نقتبس منها الأبيات التالية (وهي ليست بالضرورة أجمل الصور وأروعها):

« مِنْ أي عهدٍ في القُرى تتدفقُ؟ ... وبأي كَفٍّ في المدائن تُغدقُ؟
وبأي نولٍ أنتَ ناسج بردة ... للضفتين جديدُها لا يخلقُ؟
في كل آونة تبدلُ صبغة ... عجباً و أنت الصابغُ المتأنق؟
دينُ الأوائل فيكَ دينُ مروءة ... لِمَ لا يؤلّهُ من يقوتُ ويرزُقُ؟
متقيد بعهوده ووعوده ... يجري على سُنَن الوفاء ويَصدقُ
يتقبل الوادي الحياةَ كريمةً ... من راحتيكَ عميمةً تتدفقُ
فيبيت خصباً في ثراه ونعمةً ... ويعمُّه ماءُ الحياة المُوسَقُ
في كل عام دُرّةٌ تُلقى بلا ... ثَمنٍ إليكَ وحُرةٌ لا تُصدَقُ
حَولٌ تُسائلُ فيه كلُّ نجيبة ... سبقتْ إليكَ: متى يحولُ فتلحقُ؟
زُفّت إلى ملكِ الملوكِ يحثُّها ... دينٌ ويدفعها هوىً وتشوُّقُ»

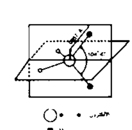
ثاني أكسيد الكربون يحيط بها، ويسهم في ارتفاع درجة الحرارة أكثر فأكثر (كما يحدث حالياً على سطح الأرض نتيجة ما يعرف بظاهرة الاحتباس الحراري-الدفيئة). إن هذه الظاهرة ترفع درجة حرارة الزهرة لتصل إلى 500 درجة تقريباً.

وكما سيتضح لنا في القسم الثالث من هذا الكتاب (التطور البيولوجي)، فإن حياة الإنسان وتطوره اجتماعياً كان، وما يزال، وسيبقى منوطاً بوجود الماء. فالماء لم يؤدِ دوراً حاسماً في نشوء الحياة (كما سنرى في الفصل السابع من هذا الكتاب) فحسب، إنما في تطور المجتمعات والجمهرات النباتية والحيوانية والبشرية منها خاصة.

وتحمل الأرض على سطحها قرابة 1.34 مليار كيلو متر مكعب من الماء (أي 1.34×10^{18}، أو 1.34 مليار مليار طن)، ثلاثة في المئة فقط من هذه الكتلة مياه عذبة، أي أن 97 في المئة من تلك الكتلة مياه مالحة، توجد في المحيطات والبحار والبحيرات المالحة الداخلية. وتبلغ كتلة المياه العذبة قرابة 38.3 مليون كيلو متر مكعب، أو 38.3 مليون مليار أي 38.3×10^{15} طن (وكما أشرنا فإن هذه الكتلة تساوي ثلاثة في المئة فقط من كامل كتلة مياه الأرض). فإذا ما علمنا بأن كتلة جليديات القطبين (التي لا يمكن اعتبارها متاحة للإنسان إلا على نحو غير مباشر)، تبلغ 29.5 مليون كيلو متر مكعب، لن يبقى متاحاً للإنسان سوى 8.8 مليون كيلو متر مكعب، يشكل الاحتياطي الجوفي منها قرابة 8.6 مليون كيلو متر مكعب. وبكلمة أخرى، فإن كتلة المياه العذبة السطحية المتاحة للإنسان تبلغ فقط 0.2 مليون كيلو متر مكعب، أو مئتي ألف مليار؛ أي 2×10^{14} طن. وإذا علمنا أيضاً بأن النشاط البشري الصناعي والزراعي قد تسبب في تلوث جزء لا يستهان به من هذه الكتلة، وجعلها غير صالحة حالياً للاستعمال البشري، وإذا أخذنا بعين الاعتبار التزايد الكبير في عدد سكان الكرة الأرضية (يقدر أن هذا العدد سيتضاعف حتى نهاية العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، ليصل إلى عشرة مليارات نسمة)، وإذا ما احتسبنا التصحر المتزايد والجفاف في بعض المناطق، وارتفاع درجة حرارة الأرض بفعل ظاهرة الدفيئة (الناجمة عن تزايد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو الذي يمنع التبادل الحراري مع طبقات الجو العليا، ويحول دون انتشار الحرارة المحتبسة في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي الأرضي، وتبديدها كما حدث تقريباً في جو الزُهرة)، يمكننا أن نتصور مبلغ الكارثة التي ستحيق ببعض البلدان، ومدى عدم التوازن، وعدم الاستقرار العالميَن اللذين سينجمان عن هذه الكارثة (هذا إذا لم تحدث أعجوبة تجعل الإنسان يتخلى عن جشعه المادي المرضي). ومما يجعل الأمور أكثر سوءاً تزايد استهلاك الماء في البلدان الصناعية. ففي حين أنَّ الإنسان العادي يستهلك وسطياً 500 متر مكعب في كل عام (أي قرابة 1 370 لتراً في اليوم الواحد)، فإن إنسان البلدان الصناعية يستهلك مثلي هذه الكمية. وبدهي أن تشمل هذه الكمية الماء الضروري لحياة الإنسان، بدءاً من مياه الشرب والاحتياجات المنزلية، حتى ما يتطلبه توليد الطاقة التي يستعملها الإنسان، مروراً بالزراعة والمنتجات الغذائية والصناعية كافة.

2.5. تكون الماء

كما كنا عرضنا سابقاً (يُرجع إلى الفقرتين 3.4.2.2 و3.4.2.2.III.1)، فإن الأرض، كبقية كواكب المنظومة الشمسية، قد تشكلت إما من سديم بدئي، نَجَمَ عن تشظي سحابة بين النجوم، وبخاصة ما قذفت به المستعرات الفائقة لدى انفجارها (يُرجع إلى الفقرة 1.3.3)، أو من ارتطام المجرات بعضها ببعض، أو نتيجة تصادم النجوم والكواكب الكبيرة بالمجرات أو بعضها ببعض، وذلك كما حدث في حال تشكل القمر [20]. فالأرض مرت في بداية تكونها بمرحلة كانت فيها ملتهبة، تحدث فيها تفاعلات الاندماج النووي الحراري وامتصاص النترون والتلاشي الضوئي والتشظي



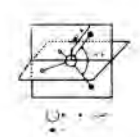
النووي (يُرجع إلى الفصل الرابع السابق، وبخاصة الفقرتين 2.4 و 3.4). ولقد ولَّدت هذه التفاعلات كميات كبيرة من الهدرجين والأكسجين المتأينين (أي H^+ و O^{2-}). وكما كنا عرضنا غير مرة، فإن الهدرجين المتأين يوجد باستمرار في الركام الكوني، كما يتولد على نحو دائم من النجوم والكواكب النشيطة. وبطبيعة الحال، فإنَّ وجود الهدرجين والأكسجين المتأينين (أي H^+ و O^{2-})، سيؤدي إلى اتحادهما برابطة تكافؤية (أي رابطة قوية بتفاعل ناشر للحرارة) وإلى تكوّن الماء H_2O(2.5) (بروتونان من الهدرجين يتحدان بذرة أكسجين واحدة متأينة).

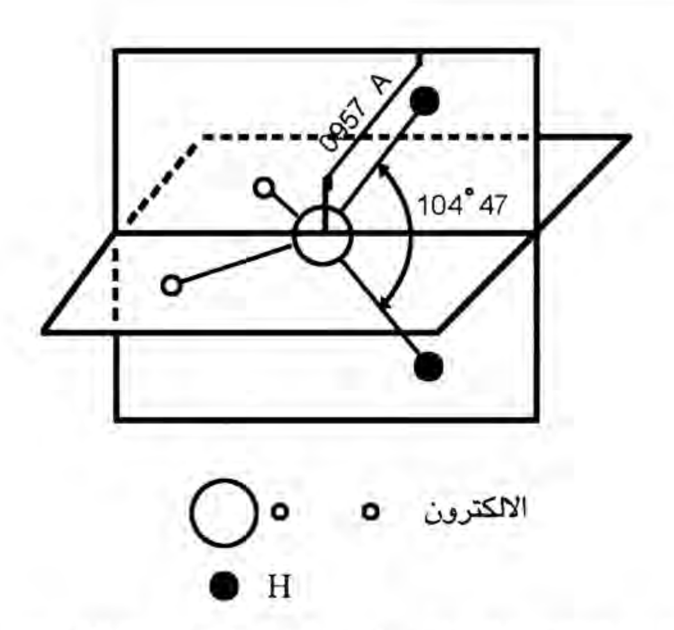
(2.5) إنَّ تفاعل مزيج غازي الهدرجين والأكسجين المستثار بشرارة كهربائية هو تفاعل انفجاري ناشر للحرارة، ويؤدي إلى اتحاد $2H_2$ و O_2، وتكوّن جزيئين من الماء ($2H_2O$). وتأتي طاقة التفاعل من تهجين جزيئي hybridation،molecular hybridization moléculaire من النمط sp3، وتنتج هذه الطاقة عن تشارك إلكتروني ذرتي الهدرجين ($1s^1$) مع إلكترونين من ذرة الأكسجين ($2p_y^1$ و $2p_z^1$)، أي إن البنية الفراغية رباعية الأبعاد تصبح كالتالي: $1s^1\ 2p_y^1$ و $1s^1\ 2p_z^1$. وينجم عن هذا التشارك أيضاً بقاء شفعين طليقين من إلكترونات الأكسجين،هما $2S^2$ ، $2p_x^2$ ، فيأخذ عندئذ جزيء الماء شكل رباعي سطوح منحرفاً قليلاً (غير مثالي) بزاوية قدرها 104 درجة و 47 دقيقة (الشكل 1.5)؛ أي أقل بقليل من الزاوية 109.5 درجة التي تتشكل في رباعي سطوح مثالي كالميتان CH_4. وتبسيطاً للأمر، نذكر أن لذرة الأكسجين الشاكلة configuration (الشاكلة هنا هي شاكلة ذرية، وتتمثل بالتوزع الفراغي في متصلة المكان–الزمن، ذات الأبعاد الأربعة للمدارات التي تدور فيها الإلكترونات. وتحل تقريباً في الشاكلة الجزيئية الذرات مكان الإلكترونات، انظر الحاشية 3.6)، فلذرة الأكسجين إذاً الشاكلة التالية: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$، فتمتلك (كما هو معروف) ثمانية إلكترونات تدور حول النواة: اثنان في الطبقة shell، couche الداخلية الأقرب إلى النواة، أي k وفقاً لطراز بنية الذرة (الذي وضعه الفيزيائي الدنمركي " نيلز بور " Niels Bohr (1885–1962)، ونال جائزة نوبل عام 1922. (يمكن الرجوع، من أجل الوقوف على تفاصيل موسعة عن حياة بور الشخصية والعلمية ودوره في صنع القنبلة الذرية، وكان دوراً غير مباشر، إلى المرجع[29]. كما أن بور كان قد أتى بفكرة مبدأ التتامية complementaryity، complémentarité الخاص بتكامل الصفات المتعارضة لظاهرة ما،(موضوع سنعرض له عند الحديث عن التعرف الجزيئي – المستقبلات– في القسم الثالث من هذا الكتاب). أما الإلكترونات الستة الباقية، فتدور في الطبقة الخارجية (أي الطبقة L الأبعد عن النواة). وعلى اعتبار أن الطبقة k تتسع لإلكترونين فقط، فهي إذاً مليئة أو مشبعة. أمَّا الطبقة L فتتسع لثمانية إلكترونات. وعلى اعتبار أنها تحوي ستة إلكترونات، فإنها تجذب إليها إلكترونين لذرتين من الهدرجين. وبالنظر إلى أن إلكترون ذرة الهدرجين المنجذب إلى الطبقة L من ذرة الأكسجين، يمضي في دورانه حول نواة هذه الذرة زمناً أطول مما يمضيه حول نواته الخاصة به (بروتون الهدرجين)، فإنَّ جزيء الماء المتشكل يكون مستقطباً (بسبب وجود الشفعين الطليقين من إلكترونات الأكسجين، وتشكل رباعي السطوح غير النموذجي كما سبق أن أسلفنا)، أي إن هذا الجزيء يمتلك سحابتين ذواتي شحنتين سلبيتين ضعيفتين، تحيطان بذرة الأكسجين، الأمر الذي يتيح لذرتي الهدرجين استبقاء سحابتين موجبتي الشحنة، تحيط كل واحدة منهما بذرة هدرجين. وتتعادل السحابتان السلبيتان مع السحابتين الموجبتين، ويغدو جزيء الماء حيادياً من الناحية الكهربائية، في حين أنَّ استقطاب الجزيء (أي احتواء الجزيء على طرف سلبي وآخر موجب) يظل قائماً، الأمر الذي يمنح الماء خصائصه الفيزيائية الكيميائية والكيميائية الحيوية التي هي أساس الحياة. ويحبذ الكيميائيون عند تمثيل جزيء الماء عدم رسم السحابتين سلبيتي الشحنة حول ذرة الأكسجين، بل يرسمون جزيء الماء على شكل حرف V (الشكل 2.5-القسم الأيسر)، حيث يمثل كل جانب من جانبي الحرف V رابطة بين الأكسجين والهدرجين، طولها أنغسترومٌ واحدٌ (أو 10^{-10} من المتر). وكما كنا عرضنا، فإن مقدار الزاوية بين جانبي حرف V (وبسبب شفعي الإلكترونات الطليقين) يبلغ 104.75 وليس 109.5 درجة. وكما سنعرض بعد قليل، فإنَّ هذا الاستقطاب مسؤول عن تشكل الروابط الهدرجينية بين جزيئات الماء من جهة، وبين هذه الجزيئات والجزيئات الأخرى، والكِبرية (البيولوجية) منها خاصة من جهة أخرى. وبالإضافة إلى خاصة الاستقطاب هذه، فإنَّ عدداً قليلاً نسبياً من ذرات الماء (1×10^{-14} في المول) يتأين في الماء الصالح للشرب إلى بروتونات هدرجين (H^+) وجذور هدركسيل (OH^-)، يُرجع إلى نهاية الفقرة 5.2. فجزيء الماء يتأين وفقاً للمعادلة التالية:

$$K_w = [H^+][OH^-] \xrightarrow{\text{وتبسيطاً}} K_w = [H_3O^+][OH^-]$$

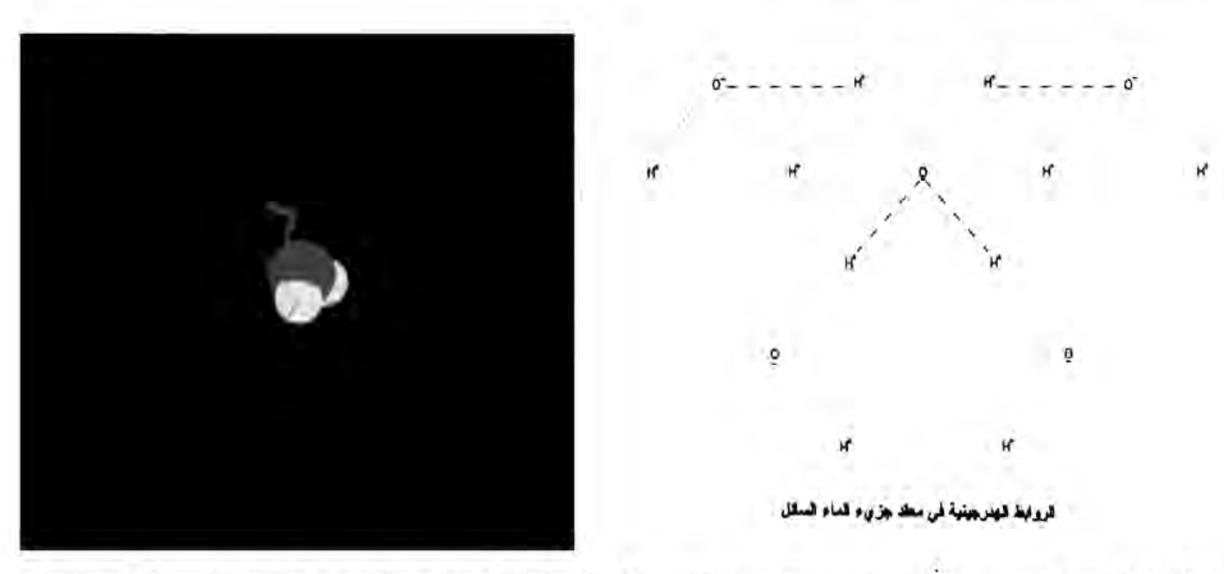
حيث إنَّ K_w يمثل النتاج الأيوني للماء مولياً. إن هذا الثابت K_w يساوي في الماء الصالح للشرب كما سبق أن أسلفنا 1×10^{-14}. إنَّ تركيزي H^+ و OH^- هما تركيزان متبادلان، فإذا ما ارتفع تركيز H^+ المولي، انخفض بالمقابل تركيز OH^-، والعكس بالعكس، فإذا غدا تركيز H^+ المولي 1×10^{-2} مثلاً، فإنَّ تركيز OH^- المولي يصبح بالضرورة مساوياً 1×10^{-12}.

←





الشكل 5 . 1. مخطط ترسيمي لجزيء الماء الذي يشكل رباعي سطوح لا نموذجي ذا زاوية قدرها 104 درجة و 47 دقيقة (أو 75، 104 درجة تقريباً)، وليس رباعي سطوح نموذجي ذا زاوية قدرها 5، 109 درجة كما هي الحال في جزيء الميثان . ولهذا السبب يكون جزيء الماء مستقطباً (أي له طرف موجب وآخر سلبي) ، ومن ثم يتمتع بخصائصه الفريدة ، وبخاصة تشكيله الروابط الهدرجينية (عن Potier,1980، المرجع 31 ، ص . 865) .

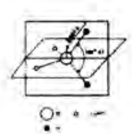


الشكل 5 . 2. مخطط ترسيمي حاسوبي لجزيئات الماء السائل(القسم الأيسر) . لقد شكل الجزيء المركزي في هذا الماء السائل (الكرة الحمراء؛ وتمثل ذرة الأكسجين ، والكرتان البيضاوان ؛ وتمثلان ذرتي الهدرجين) روابط هدرجينية (الخطوط الخضر الرفيعة) مع خمسة جزيئات مائية أخرى (الأشكال V القرنفلية) . لقد ارتبطت ذرتا الهدرجين بأكسجيني جزيئين مائيين آخرين ، في حين أن ذرة الأكسجين ارتبطت بذرة هدرجين من كل جزيء من جزيئات الماء الثلاثة الأخرى . وعموماً ، يشكل كل جزيء من الماء السائل أربع أو خمس روابط هدرجينية [عن Gerstein and Levitt,1998، المرجع32 ، الترجمة العربية لمقالة ، «مجلة العلوم» (الكويت) ، المجلد **15** ، العدد **1** ، يناير (كانون الثاني) 1999 ، ص . 22] . هذا، ويمثل القسم الأيمن تبسيطاً للقسم الأيسر .

وقد يكون من المفيد الإشارة في هذا الصدد، إلى أن تكون الماء في خلايا أجسامنا مسؤول بصورة رئيسة عن توليد الطاقة التي نستعملها في كل ما نقوم به من أعمال. إننا نتناول الغذاء، ونأخذ عن طريق التنفس الأكسجين الجوي، فنحرق (نؤكسد) عناصر هذا الغذاء في وحدات توليد الطاقة الموجودة في خلايانا (كائنات حية دقيقة تعايشت مع خلايانا، وتعرف بالكوندريات mitochondria)، فيتشكل (نتيجة هذا الاحتراق) ثاني أكسيد الكربون والماء وكمية محددة من الطاقة[3.5]، نختزنها على شكل مركبات بيولوجية، تحرر الطاقة حيثما تدعو الحاجة إليها بدءاً من حركات

(3.5) يتم في أثناء استقلاب أنواع الغذاء داخل خلايا أجسامنا [في أثناء تحلل السكر glycolysis، glycolyse، وأكسدة الحموض الدسمة، وفي حلقة حمض السيتريك، أو حلقة "كربس" Krebs، (السير "هانس أدولف كربس" sir Hans Adolf Krebs، 1900 – 1981، الذي فاز بجائزة نوبل عام 1935)]، يتم في أثناء الاستقلاب إذاً تشكل جزيئين غنيين بالطاقة هما: ثنائي نكليوتيد أدنين النيكوتيناميد nicotinamide adenine dinucleotide (NAD)، وثنائي نكليوتيد أدنين الفلافين flavine adenine dinucleotide (FAD) (الشكل 3.5). إن غنى هذين الجزيئين بالطاقة يرجع إلى أنّ كل جزيء منهما يحتوي على إلكترونين لهما كمون نقل مرتفع. فعندما يتم تخلي هذين الجزيئين عن هذه الإلكترونات الشفعية كي تمنحها إلى الأكسجين الجزيئي (O_2) الذي يؤخذ عن طريق التنفس، يتشكل الماء (وثاني أكسيد الكربون)، وتتحرر كمية من الطاقة تستعمل لتوليد ثالث فسفات الأدينوزين adenosintriphosphate (ATP) الغني بالطاقة، وذلك بدءاً من أحادي وثنائي فسفات الأدينوزين (AMP و ADP) وجذر الفسفات اللاعضوي $HO - \overset{O}{\underset{O^-}{\overset{||}{\underset{||}{P}}}} - \bar{O}$ وعلى اعتبار أنّ توليد ATP يشتمل على تفاعلات أكسدة (أكسدة الهدرجين والكربون الناتجين عن أكسدة الغذاء)، وعلى تفاعلات فسفرة (اتحاد زمرة الفسفات اللاعضوية بالمركبين AMP و ADP)، فإن مجموع هذين النمطين من التفاعلات (والتي تتم متزامنة وفي آن واحد) عرف بالفسفرة التأكسدية oxydative phosphorylation، phosphorylation oxidative. ويمكن تعريف الفسفرة التأكسدية بأنها السيرورة التي تؤدي إلى تشكيل ATP كنتيجة لنقل الإلكترونات من الشكل المرجع للمركب NAD (وهو NADH) وللمركب FAD (وهو $FADH_2$) إلى الأكسجين الجزيئي بوساطة سلسلة من الجزيئات حاملات الإلكترون. إن هذه التفاعلات تتم داخل الكوندريات (الشكل 4.5)، حيث يترافق نقل الإلكترونات مع تدفق البروتونات. وغني عن البيان، أن تفاعلات الفسفرة التأكسدية تشكل المصدر الرئيس (أكثر من 95 في المئة) من الطاقة التي تستعملها الكائنات الحية ذات التنفس الهوائي. إنّ مردود هذه التفاعلات (التي تتم في الكوندريات) مرتفع جداً (أعلى بكثير من مردود أفضل مولد للطاقة صممه الإنسان حتى الآن)، فأكسدة جزيء واحد من الغلوكوز أكسدة تامة إلى ماء وثاني أكسيد الكربون يولد 26 جزيئاً من ATP من أصل الثلاثين جزيئاً التي تتشكل (تستعمل الجزيئات الأربعة الناقصة في استمرار سيرورة تفاعلات الفسفرة التأكسدية). أمّا في ما يتعلق بتسلسل حاملات الإلكترون في السلسلةالتنفسية، فيمكن تلخيصها بالشكل 5.5. هذا، ويمكن لمزيد من التفاصيل المعمقة الرجوع إلى المرجع 30. ونرى أنّه من الضروري الإشارة في هذا الصدد إلى الجانب السلبي لتوليد الطاقة المسؤولة عن وظائف جسمنا كلها. ففي أثناء تفاعلات الفسفرة التأكسدية وتوليد ATP و H_2O و CO_2، تفلت ذرات من الأكسجين تحمل كل واحدة منها إلكتروناً واحداً (أي O^-). وعلى ما يبدو، فإن إفلات هذه الذرات ذات المقدرة العالية على الأكسدة إنما ينجم (ولو جزئياً) عن إخفاق ما في جملة نقل الإلكترونات ونقل بروتونات الهدرجين، وتكوين نتاجات تفاعلات الفسفرة التأكسدية (أي ATP و H_2O و CO_2)، تفاعلات تنجز سيرورالها مجموعة من الأنزيمات. إن هذا الأكسجين ذا الفاعلية التأكسدية العالية، يحطم عدداً من الروابط (مثل الرابطة الهدرجينية)، ويؤكسد عدداً من الزمر ذات الأهمية الفيزيولوجية الكبيرة (مثل زمرة التيول SH-). إن عمليات الأكسدة هذه تحدث على نحو عنيف، مسببة تحطم الجزيئات الكبرية (DNA، ADN مثلاً)، وتمسّخ البروتينات، الأمر الذي يتسبب في هرم الخلايا وموهًا. إنّ هذا الأكسجين الذي تحمل ذرته إلكتروناً واحداً، يمثل إحدى المواد التي تعرف عموماً بالجذور الحرة. إن سمات الهرم (تغضن الوجه، وتجعد أدمة العنق، وتصلب بعض النسج، وفقدان مرونة النسيج الضام ...)، يمكن أن تعزى (بصورة أساسية) إلى تشكل هذه الجذور الحرة. كما يمكن لهذه الجذور الحرة (وعلى رأسها O^- المتملص من تفاعلات الفسفرة التأكسدية،) أن تسهم في نشوء أنواع مختلفة من الخباثات، نتيجة إحداثها إما طفرات لجينات معينة (مسببة إما تفعيل جينات ورمية بدئية، أو كظمها للجين p53 الذي تسهم فاعليته في تجنب نشوء الأورام)، أو لتكسيرها حلزونات DNA (أو حتى الصبغي نفسه). فإنتاج الطاقة ــ كجانب إيجابي لتعايش الكوندريات مع الخلايا - يترافق كجانب سلبي بتوليد O^-. وكلما ازداد إنتاج هذه الطاقة، تملصت جذور حرة مخربة أكثر (وهذا هو الجانب السلبي للرياضة الجسدية عامة، والعنيفة منها خاصة). ويمكن اتقاء الفعل المخرب لهذه الجذور الحرة (ولو جزئياً) بتناول مواد مرجعة، يأتي في مقدمتها الفيتامين C (حمض الأسكوربيك)، والفيتامين E (التوكوفيرول tocopherole). ويكفي الإنسان العادي تناول 200 ميلي غرام من الفيتامين C يومياً، ويُنصح المدخنون بتناول 250 ميلي غرام، ذلك أنّ البتروبيرين الذي يتشكل نتيجة احتراق التبغ يستقلب في الجسم، وتنشأ عن بعض مستقلباته جذور حرة تسهم في إحداث الخباثة.

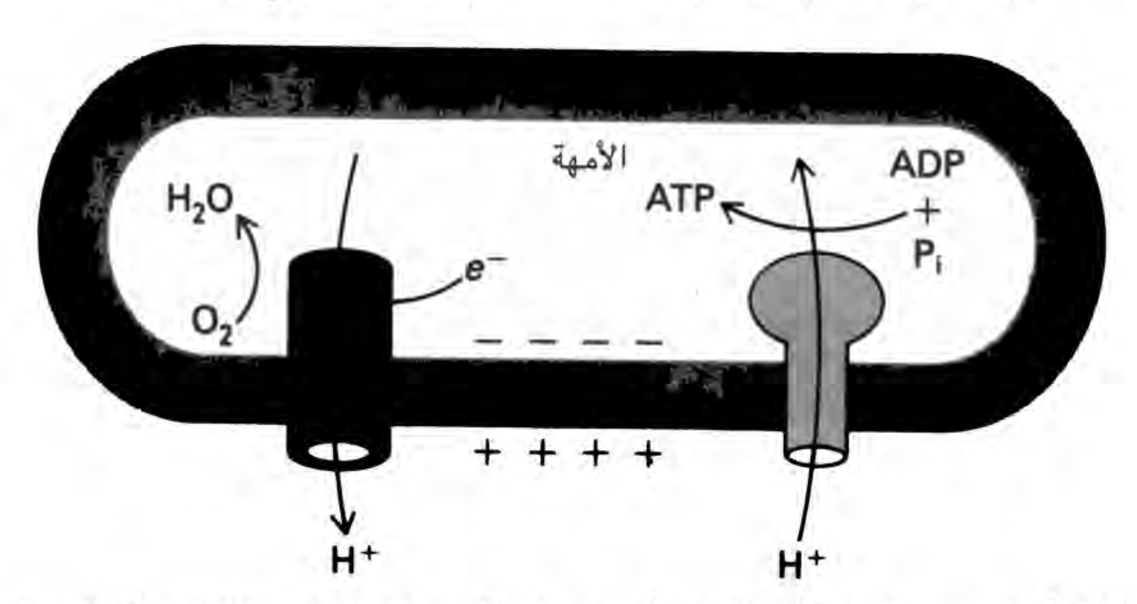
30. Stryer, L., " **Biochemistry** ". W.H. Freeman and Company , New York (1995).



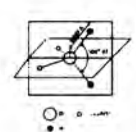
الأطراف حتى عمليات التفكير. فالماء إذاً لم يتسبب في نشوء الحياة وتطور الجمهرات البشرية فحسب، بل إنَّ تكونه (كنتيجة لتولد الطاقة) أساسي للحفاظ على حياة الكائنات الحية كافة. أما في ما يتعلق بتجمع الماء السائل على سطح الأرض، فقد حدث (كما سبق أن أشرنا في مطلع هذه الفقرة) منذ أكثر من أربعة مليارات عام، أي بعد انقضاء أقل من نصف مليار عام على ولادة الأرض. وكان الماء لا يزال يسيل أيضاً على سطح المريخ منذ مليار عام فقط، ويقتصر الآن في ما يتعلق بهذا الكوكب على جليديات مدفونة في بواطن حفره. ولقد قذفت النجوم (كما سبق أن عرضنا) في أثناء

الأدنين
الريبوز
ثنائي نكليوتيد أدنين الفلافين
(FAD)

الشكل 5، 3. تمثيل صيغة ثنائي نكليوتيد أدنين الفلافين (FAD) (عنStryer,1995، المرجع 30 ، ص. 755) .

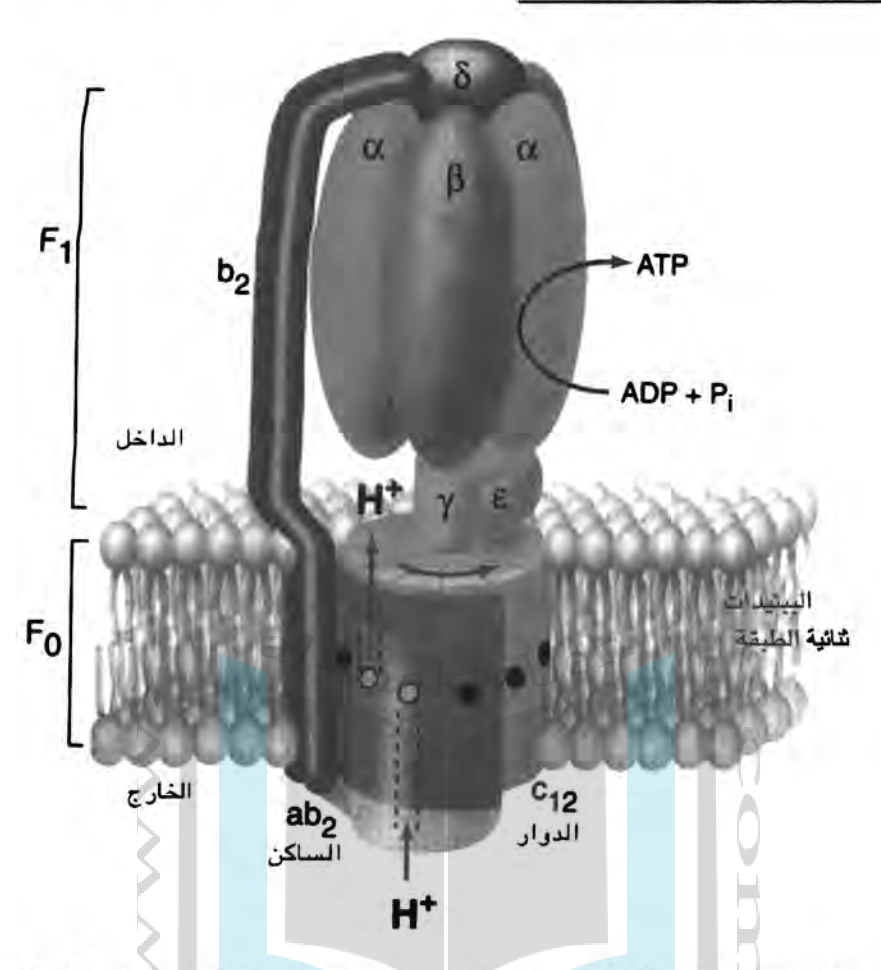


الشكل 5 .4 - أ. مخطط ترسيمي للسمات الأساسية للفسفرة التأكسدية . يتم قرن الأكسدة وتركيب ثالث فسفات الأدينوزين (ATP) بوساطة تدفق البروتونات عبر غشائي الكوندرية (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 530) .

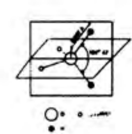


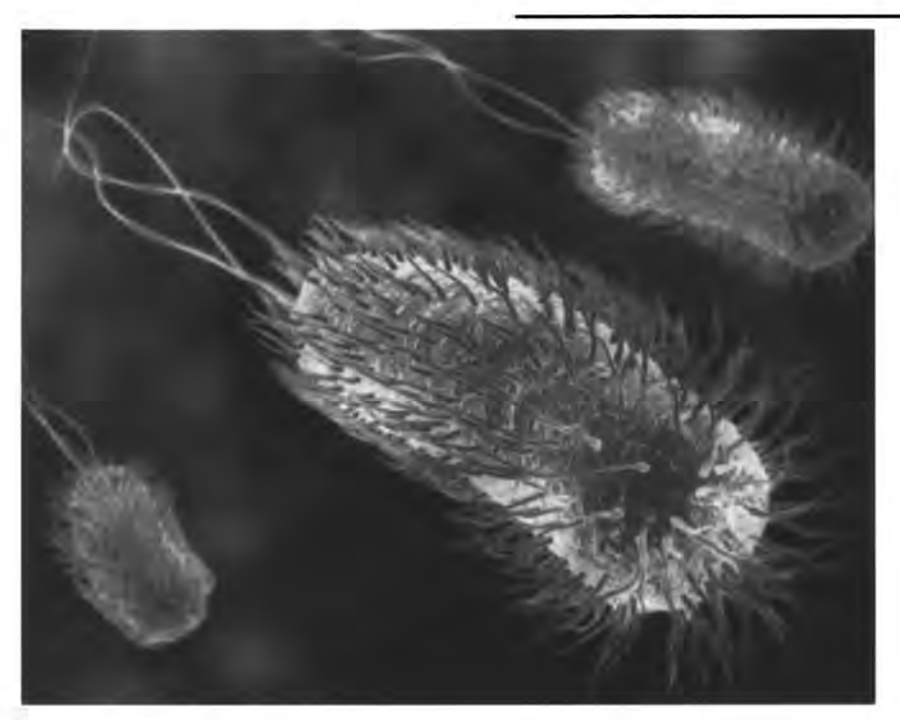
موتها (وكما يحدث لدى تشكل المستعرات الفائقة، يُرجع إلى الفقرة 3.3.1) في الفضاء الخارجي سيولاً من الركام الكوني والغبار اللذين كانا غنيين بالماء الجليدي وبغاز ثاني أكسيد الكربون.

ولدى تكون الكواكب (نتيجة تصادم المجرات بعضها ببعض والمجرات بالنجوم والنجوم بعضها ببعض، ونتيجة ارتصاص مواد الركام الكوني وغباره)، لدى تكون الكواكب إذاً، تبخر الماء الجليدي على شكل ينابيع حارة. وعلى ما يبدو، فإنَّ مذنبات كثيرة، تتألف أساساً من ماء متجمد (يُرجع إلى الفقرة 3.4.2.2.1)، تساقطت على سطح

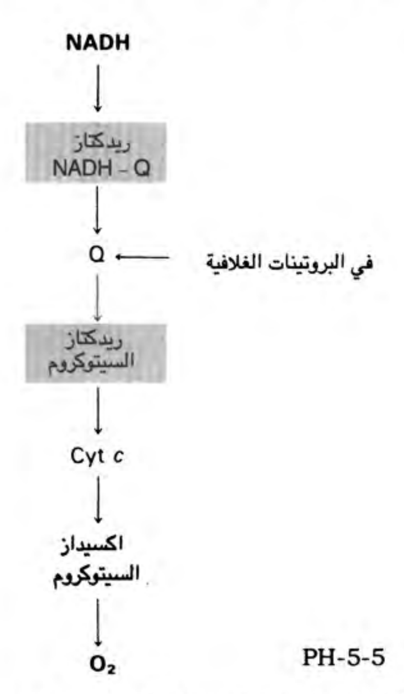


الشكل 5.4-ب. مخطط ترسيمي لطراز المحرك الدوراني (أصغر محرك عرفته الطبيعة) الذي يولد في الأشريكية القولونية *E. coli* ثالث فسفات الأدينوزين (ATP) بفعل من الانزيم سنتار TP بمجاليه F_1 و F_0، حيث يقع المجال F_1 داخل البكتيرة (الجرثوم) و F_0 خارجها. إن قوة البروتونات الحركية تسبب دوران حلقة تتألف من 12 وُحيدة C (تقابلها 10 وُحيدات في الخميرة الجعوية). تدخل البروتونات عبر قناة دخول سيتوبلازمية خاصة (السهم في الوسط)، وترتبط بكربوكسيلات ثمالة حمض الأسبارتيك رقم 61 (الدائرتان الفارغتان) للوحيدات C الاثنتي عشرة. ويدفع هذا الارتباط البروتوني بمقر الارتباط (الدوائر السود) إلى دوران هذا المقر، وانتقاله من الموضع a1b2 إلى الطور الليبيدي للغشاء. وتصل البروتونات (بعد 12 عملية انتقال) إلى قناة الخروج التي توجد في مقر الارتباط للمجال الداخلي F_1. وتبقى في هذا الأثناء الوحيدتان غاما و إبسيلون ثابتتين في ذروة الوحيدات C. وهكذا، فإن دوران الوُحيدة C قليلة القُسيمات (الجزيئات)، يسبب دوران الوُحيدة ضمن وحُيدات سداسي القُسيم ألفا 3بيتا 3 للمجال F_1. وتمسك الوُحيدتان b2 و دلتا الوُحيدات ألفا 3بيتا 3 في موقع ثابت بحيث تدور الوُحيدة غاما داخل وحيدات سداسي القُسَّيم ألفا 3بيتا 3، مسببة تركيب ATP [عن Fillingame, R. H., Science **286**,1687-1688(1999) المرجع 167. وعن Stock, D. et al., Science **286**, 1700-1705 (1999)، المرجع 168].





الشكل 5 .4-جـ. الإشريكية القولونية وسياطها كما تظهر بالمجهر الإلكتروني التفرسي (الماسح)، إن المحرك الدوراني (الشكل 5 .4-ب السابق) يولِّد الطاقة الكيميائية (ATP)، فتتحول بوساطة الجزيئات البروتينية القلوصة (الأكتين والميوزين . .) إلى طاقة حركية سباحية، تتيح للبكتيرة التحرك في الوسط السائل (أمعاؤنا خاصة)، انظر أيضاً الشكل 8-1- ب . [عن M. G. وايتسايدس، «مجلة العلوم»، الكويت، المجلد **18**، العددان **9/ 10** سبتمبر/ أكتوبر (أيلول/ تشرين الأول) 56-61، ص . 57، (2002)] .



الشكل 5،5. تسلسل حاملات الإلكترون في السلسلة التنفسية يتم ضح البروتونات بوساطةثلاثة معقدات تم تلوينها للإيضاح (عن Stryer,1995، المرجع30، ص. 534) .



الكوكب الآخذ بالتبرد. وبسبب حقلها الثقالي، وبعدها الملائم عن الشمس، تمكنت الأرض من الاحتفاظ بقسم من هذا الماء بحالة سائلة. وتجدر الإشارة إلى أنَّ الماء المتساقط على سطح الأرض حمل معه عدداً كبيراً من المركبات التي تشكلت في الركام الكوني (يرجع إلى الجدول 3 .1)، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون والأمونياك وبعض أنواع الكحول - كالكحول الإيتيلي - والحموض الأمينية البسيطة. ولقد أمكن إحصاء عدد كبير من المركبات الهدروكربونية في مذنب هالي عند آخر مرور له في 13 آذار (مارس) عام 1986. وكما سنعرض بالتفصيل لاحقاً (انظر الفصل السابع من هذا الكتاب- نشوء الحياة)، فلقد أدَّت هذه الجزيئات، بفضل خصائص الماء وأشعة الشمس (وبخاصة الأشعة فوق البنفسجية)، دوراً حاسماً في ظهور الحياة على كوكب الأرض كضرورة لتطور موجه، وليس كمصادفة طارئة (يُرجع إلى الفقرة 3 .2 .2).

5 .3. الخصائص الفيزيائية الكيميائية للماء

من المعروف أن الجليد ينصهر في الدرجة صفر، ويتكاثف بخاره في الدرجة مئة من سلم سِلسيوس في ضغط جوي قدره 760 «تور» Torr (4.5). فدرجتا حرارة انصهار الجليد، وتكاثف بخار الماء، يعنيان إذاً الصفر والمئة في سلم «سِلسيوس» Celsius(5.5)، ويعنيان أيضاً (إنما على نحو غير مباشر) 15 .273 و15 .373 درجة مطلقة في سلم «كلفِن» (يُرجع إلى الحاشية 3).

ويوجد الجليد بأشكال بلورية يقارب عددها العشرة (الشكل 6.5 أ)، وأجمل هذه البلورات هي الكسفة الثلجية - كتلة رقيقة من ثلج متساقط (الشكل 6.5 ب)، وتُعَدُّ مثالاً نموذجياً لظاهرة التناظر في الطبيعة. ويبدي الشكل السائل من الماء بعض الشذوذات، فيتقلص لدى ترابط الذرات (كما سنعرض بعد قليل). وتبلغ كثافته حدها الأعظمي في الدرجة +4 سِلسيوس. كما أنَّ درجة حرارة الماء ما بين 5 .14 و 5 .15 سِلسيوس تحدد الكالوري calory، calorie، أي وحدة كمية الحرارة التي تعادل مقدار الحرارة الضروري لرفع درجة حرارة غرام واحد من المـــاء (في الضغط الجوي النظامي أو الجـــو - ويعادل 325 101 باسكال، يُرجع إلى الحاشية 11.3- والثقالة المعيارية) من الدرجة 5 .14 إلى 5 .15 سِلسيوس. وللماء درجة لزوجة منخفضة نسبياً، وتقل ناقليته الحرارية 15 مرة عن ناقلية الزئبق[31] ويبلل الماء الزجاج على نحو مثالي تقريباً، حيث تشكل جزيئاته طبقة تلتصق بالزجاج التصاقاً تاماً، وتصبح معه زاوية التصاق الجزيء بسطح الزجاج معدومة تقريباً. والماء السائل شفيف عندما يكون سمك الطبقة قليلاً، وأزرق اللون عندما يكون سمك (عمق) الطبقة مرتفعاً. ويبدو الماء بالأشعة تحت الحمراء ظليلاً، ويمتص الأشعة التي يزيد طول موجتها على 4 .1 مِكرون. أما في أطوال الموجات الأقصر، فيكون الامتصاص أعظمياً في الأشعة فوق البنفسجية التي يبلغ طول موجتها 186 نانومتراً. وللماء النقي(الخالي من الأيونات) ناقلية كهربائية ضعيفة نسبياً.

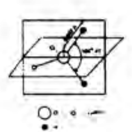
(4 .5) «تور» Torr، إحدى وحدات الضغط، من الفيزيائي والرياضي الإيطالي الإنجيلي «توريشيلي» Torricelli (1608-1647)، أحد طلاب «غاليلي». ويعود له الفضل في اكتشاف مقياس الضغط الجوي barometer، baromètre. ويعادل التور $\frac{1}{760}$ من الجو (يرجع إلى الحاشية 3. 11)، ويساوي تقريباً ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 1 ميلي متر في الدرجة صفر مئوية وثقالة معيارية.

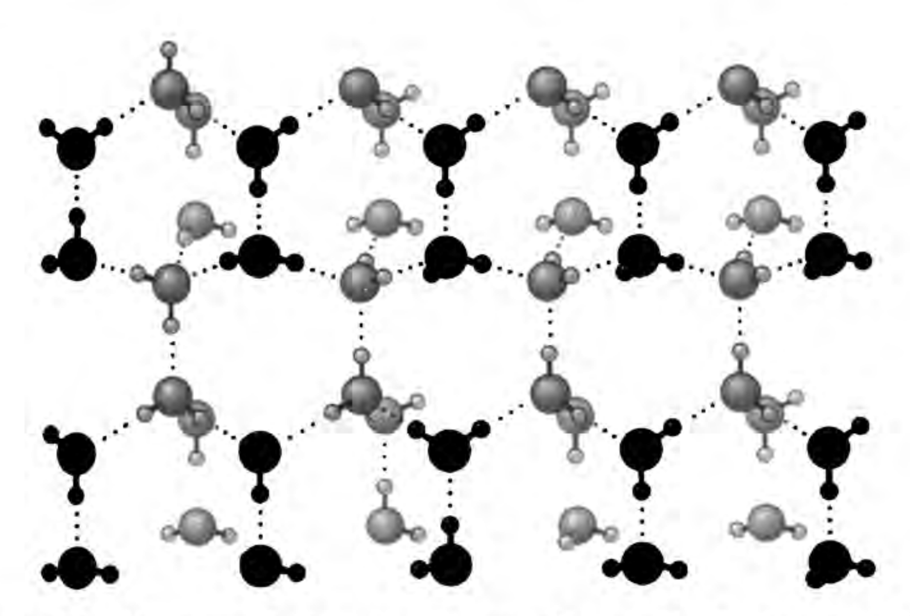
(5 .5) «أندرز سِلسيوس» Anders Celsius (1701-1744)، فلكي وفيزيائي سويدي، ابتكر سلم مقياس الحرارة المئوي (يُرجع إلى الحاشية 3).

31. Potier, A, " **Encyclopaedia Universalis**" ,Vol.5, Pp. 863 - 865, Paris (1980).

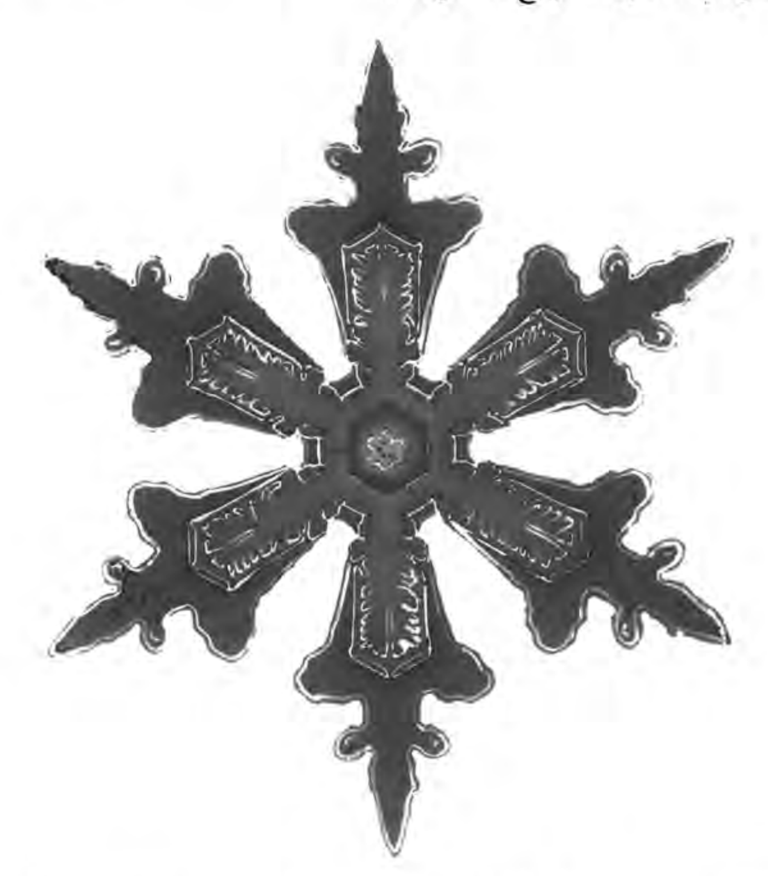
32. Gerstein, M. and Levitt, M., Scientific American, **November** 100 - 105 (1998).

لقد نقلت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت في «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **15** العــدد **1** يناير (كانون الثاني) 1999, الصفحـات 20-25.

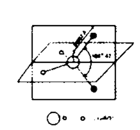




الشكل 6.5 - أ. بنية الجليد . تمثل الكرة الحمراء ذرة الأكسجين ، والكرة الخضراء ذرة الهدرجين . لاحظ الروابط الهدرجينية (الخطوط النقطية) (عن stryer، 1995 ، المرجع 30 ، ص. 9) .



الشكل 6.5-ب. تمثيل التناظر سداسي المثل في أحد أجمل وأبسط صورة له عرفتها الطبيعة، وهي بلورات الكسفة الثلجية . إن هذا الشكل هو صورة لمجسم راتنجي لبلورة الكسفة الثلجية التي تؤلف رقائق أو ندف الثلج المتساقط . إن وحدة التناظر الأساسية (التي هي نفسها فائقة التناظر) تتكرر كل 60 درجة (الشكل عنFraser et al.,1998، المرجع 7 ، ص. 66) .

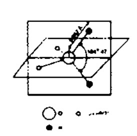


أمّا في ما يتعلق بالخصائص الكيميائية للماء، فإنها منوطة بصورة أساسية باستقطابية الجزيء من جهة، وبتأينه من جهة أخرى. فكما كنا عرضنا في الفقرة السابقة (2.5)، فإن استقطابية جزيء الماء (أي إنّ للجزيء نهايتين تتعاكس الواحدة منهما مع الأخرى)، إنما تنجم عن وجود شفعين من إلكترونات الأكسجين بحالة حرة، وعن أنّ الأكسجين محاط بسحابتين سلبيتي الشحنة، تحتلان أحد جوانب رباعي السطوح اللانموذجي (ذا الزاوية 104.75 وليس 109.5 درجة)، وعن أنّ الهدرجينين محاطان بسحابتين موجبتي الشحنة، ويحتلان الطرف المقابل لرباعي السطوح [32] (يُرجع إلى الحاشية 2.5). وبسبب من استقطابية جزيء الماء، فإنّ الهدرجين موجب الشحنة في أحد جزيئات الماء، يتأثر مع الأكسجين موجب الشحنة في جزيءٍ مائي آخر. ويطلق على القوة أو الرابطة التي تتشكل نتيجة هذا التأثر اسم القوة أو الرابطة الهدرجينية liaison d'hydrogène,hydrogen bond. وبسبب من الهندسة رباعية السطوح لجزيء الماء وغير الكاملة، وبالنظر إلى وجود الشفعين الطليقين من إلكترونات الأكسجين، فإنّ هذا الجزيء يشكل عادة أربع قوى أو روابط هدرجينية: اثنتان بين هدرجيني الجزيء وبين أكسجينين لجزيئين آخرين من الماء، واثنتان أخريان بين أكسجين جزيء الماء المعني وبين هدرجينين لجزيئين آخرين من الماء (يُرجع إلى الشكلين 1.5 و 2.5). وأخيراً، لا بد من الإشارة إلى أن بنية الماء العادي تكون (خلافاً لبنية الثلج التي تتألف عادة من شبكة بلورية تنتظم فيها جزيئات الماء في رباعيات سطوح تامة، يُرجع إلى الشكل 6.5)، إن بنية الماء العادي تكون إذاً عشوائية وغير منتظمة، ويتراوح عدد القوى أو الروابط الهدرجينية بين أربع وست، ووسطياً أربع روابط ونصف الرابطة (يرجع إلى الشكل 2.5). كما أنّ ضرورة الحفاظ على هندسة رباعي السطوح، تفرض على الروابط الهدرجينية إعطاء الماء بنية «مفتوحة»، رخوة الارتزام (غير متماسكة)، إذا ما قورنت ببنية السوائل الأخرى كالزيوت والآزوت السائل.

ومما لا لبس فيه أنّ هذه الخصائص الفريدة للماء (التي نجمت أساساً عن وجود شفعين من الإلكترونات الحرة منحته بنية رباعي سطوح غير كامل، يُرجع إلى الشكل 1.5 وفرضت على الجزيء استقطابيته التي سببت بدورها تشكل الروابط الهدرجينية بين جزيئاته)، أسهمت إسهاماً حاسماً في نشوء الجزيئات البيولوجية، ومن ثم في نشوء الحياة. ونعود لنرى في هذه الخصائص تعبيراً واضحاً عن ضرورة حدوث تطور موجه ذي معنى لا علاقة لها بالتصادفية. وبالنظر إلى أهمية هذه الرابطة في بنية الجزيئات الكِبرية (والبيولوجية منها خاصة)، فإننا سنعود إلى معالجتها في الفقرة 4.6 من الفصل التالي، وفي فقرات أخرى من القسم الثالث من هذا الكتاب.

أمّا في ما يتعلق بتأين جزيء الماء السائل (أي تَكوّن جذور موجبة الشحنة ـ أي بروتونات الهدرجين H^+ وجذور سلبية الشحنة ـ أي جذور الهدركسيل OH^-)، فيتم على نحو غير مباشر نتيجة تكون جذور الهدرونيوم H_3O^+ موجبة الشحنة وجذور الهدركسيل OH^- سلبية الشحنة. وبالنظر إلى أن جذور الهدرونيوم حمضية التفاعل وجذور الهدركسيل قلوية التفاعل، فإنّ بوسع الماء ذي الجزيئات المستقطبة أن يحل الحموض والأسس والأملاح ذات الجزيئات المستقطبة أيضاً، فتذوب فيه، متأينة إلى جذور موجبة وأخرى (مساوية لها في عدد الشحن) سالبة الشحنة[(6.5)]. وتأتي هذه الخاصة

(6،5) بالنظر إلى أنّ جزيء الماء مستقطب وذو ثابت كهربائي مرتفع نسبياً ومذيب سيئ للمركبات غير المستقطبة (المركبات الهدروكربونية كافة)، فهو مذيب قوي للمركبات التي تحوي روابط هدرجينية وللكهارل electrolytes، électrolytes (مفردها كهرل). فالمواد اللامستقطبة، كالهواء والميتان والإيتيلين، ذات ذَوْبٍ في الماء، يقلّ عشرة آلاف مرة عن ذَوْب الأمونياك ذي الجزيئات المستقطبة[30]. إن هذه الغازات اللامستقطبة (وبخاصة الهواء)، ترسخ وتدعم البنية البلورية للماء بتشكيلها الجبال الجليدية iceberg، والجليديات العائمة التي تغزر←



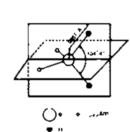
كنتيجة بدهية لبنية جزيء الماء، وتؤدي دوراً حاسماً في نظامية بنية الجزيئات البيولوجية التي تسببت في نشوء الحياة (موضوع سنعرض له في الفصل السابع من هذا الكتاب).

4.5. الخصائص الكيميائية الحيوية للماء

يتضح مما عرضنا له في الفقرة السابقة (3.5)، أن أهمية الماء في الجمل البيولوجية إنما ترجع أساساً إلى استقطابية الجزيء، وتأينه الضعيف (يُرجع إلى الحاشية 2.5)، الذي يتيح للماء الإسهام في تشكيل أوساط ملائمة للجزيئات البيولوجية، وبخاصة في ما يتعلق بتأثر هذه الجزيئات في الجمل البيولوجية. وبدهي، أن يضفي تشكل الروابط الهدرجينية بين جزيئات الماء (يشكل الجزيء الواحد ما بين أربع إلى ست روابط، يُرجع إلى الفقرة السابقة 3.5 والحاشية 2.5 والشكلين 2.5 و 6.5) نوعاً خاصاً من التماسك الجزيئي، فيقلل كثيراً من التجاذب الكهربائي الساكن بين الذرات المشحونة (الأيونات) الذَوْبة في الماء. فمقدرة جزيئات الماء على الانتظام الموجه، تخلق طبقة حول الأيونات ذات حقل كهربائي، يلغي بعضاً من تأثير الحقل الكهربائي للأيون المعني. ولذا، فإنَّ وجود جزيئات الماء في الوسط، يضعف كثيراً التجاذب الكهربائي الساكن بين الأيونات الذَوْبة في الماء. وكما كنا عرضنا غير مرة، فإن نشوء الحياة واستمرارها منوطان بوجود الماء الذي يستطيع أن يذيب طيفاً واسعاً جداً من الجزيئات المستقطبة، التي يوجد منها ما يعمل كوقود تستهلكه الخلايا (أي الأجسام الحية، يُرجع إلى الحاشية 3.5)، أو كوحدات بناء تتكون منها المادة الحية، أو كمحفزات (أنزيمات)، تنجز تفاعلات الاستقلاب والنمو بدرجة حرارة الجسم وبالضغط الجوي النظامي، أو كحوامل للمعلومات. وبوسع هذه الجزيئات أن توجد كلها في الماء، جنباً إلى جنب، وبتراكيز عالية نسبياً، حيث تنتشر بحرية، ويتلاقى بعضها ببعض ليتفاعل أو ليتأثر.

وبالنظر إلى أن الماء يقلل (بروابطه الهدرجينية) التجاذب والتأثر بين الجزيئات المستقطبة الضروريين لحدوث التفاعلات البيولوجية، فإنَّ الجمل البيولوجية أوجدت حلاً لهذه المعضلة بتكوينها بيئات صِغرية خالية من الماء، حيث تصبح قوة التأثر بين الجزيئات المستقطبة في حدودها القصوى، وتغدو نوعية هذا التأثر في أعلى مستوى ممكن. وتتمثل هذه البيئات الصِغرية بالجيوب والثنايا التي تشكلها الجزيئات البيولوجية (وخصوصاً البروتينية منها) في أجوافها. وتجدر الإشارة إلى أنَّ الجزيئات اللامستقطبة (كالزيوت مثلاً) لا تتمازج، كما هو معروف، مع الماء وتميل باستمرار للانفصال عنه: فهي تكاره الماء hydrophobes، أي إنَّها تقيم بينها وبين الماء علاقات تنافر وتباعد. لذا، فإنَّ جزيئات

←في قطبي الأرض، فيتناقص ذَوْبها، فتصل الأنتروبية إلى حالة توازن، الأمر الذي يؤدي إلى توقف تزايدها. ويتفاوت ذَوْب المركبات ذات الروابط الهدرجينية وفقاً للكتلة النسبية للقسم غير المستقطب من جزيء المركب. ففي حين أنَّ الإيتانول يذوب كلياً في الماء، فإنَّ البوتانول لا يذوب في الماء إلا جزئياً، وكذلك الأمر في ما يتعلق بالفينول والإيتر. كما أنَّ البروتينات والليبيدات (الشحوم) ذات ذَوْب ضعيف في الماء، علماً بأنَّ البروتينات تستطيع أن تشكل روابط هدرجينية مع الماء أكثر مما تشكله الليبيدات. أمَّا في ما يتعلق بالأملاح (التي هي ذوائب solutes، solutés –ومفردها ذائبة– أيونية)، فإنَّ ذَوْبها يتفاوت تفاوتاً كبيراً: فالكيلوغرام الواحد من الماء يذيب 360 غراماً من كلوريد الصوديوم، و 110 غرامات من سلفات البوتاسيوم، و0.7 ميلي غرام من سلفيد الزنك. وتعمل أيونات اللانتانوم La^{3+}، والمغنزيوم Mg^{2+}، والهدرجين H^+، والهدركسيل OH^-، والفلور F^- (التي تشكل بنى تضاهي بنى الجبال الجليدية)، تعمل إذاً كنوى لتكوين « جمهرات » من الجزيئات، تتزايد فيها أعداد هذه الأيونات[30]. وتتميه أيونات معينة (مثل البوتاسيوم K^+ والصوديوم Na^+ والكلورات $ClO4^-$ واليود I^- والنترات $NO3^-$) في الماء، محيطة نفسها بطبقة وحيدة من جزيئات الماء، مثبطة على هذا النحو تكوين الجمهرات الجزيئية. وتكون إيونات الهدرجين H^+ في المحاليل المخففة رباعية التميه (أي $H9O4^-$). وتحوي المحاليل المركزة للحموض إيونات الهدرونيوم H_3O^+، في حين أنَّ بروتونات الهدرجين H^+ تكون غير موجودة كلياً.



الماء تحاول (بانتظام تراتبها الذي يفرضه تكون الروابط الهدرجينية) استبعاد الجزيئات اللامستقطبة من وسطها. وتتخلص هذه الجزيئات اللامستقطبة من أكبر قدر ممكن من هذا الطرد الاستبعادي بتجمع بعضها مع بعض. فانفصال الجزيئات اللامستقطبة (المكارهة للماء) عن الماء لا ينجم عن الألفة المرتفعة بين هذه الجزيئات بل لأن جزيئات الماء يترابط بعضها ببعض بقوة تكفي لطرد الجزيئات اللامستقطبة من وسطها (انظر القسم 3 من الحاشية 3.6، والشكل 5.6). أمّا إذا كان لا بد من احتواء الجزيئات اللامستقطبة ضمن الماء (كما يحدث في الخلية وفي أحيازها الداخلية)، فإن جزيئات الماء تتراتب عندئذ منتظمة حول تجويف لا مائي. وكما سنعرض في الفصل السابع، فإنّ هذه الظاهرة أدَّت دوراً حاسماً في نشوء الحياة في الوسط المائي، دور يعود إلى مقدرة جزيئات الماء على الانتظام والتراتب بفضل الروابط الهدرجينية التي تشكلها، والتي أتت كنتيجة لوجود شفعين من الإلكترونات الحرة في الجزيء، وتشكيل هذا الجزيء رباعي سطوح فريداً من نوعه، زاويته 104.75 درجة تقريباً وليس 109.5 درجة كما هي الحال عموماً في رباعيات السطوح النموذجية (جزيء الميتان مثلاً، يُرجع إلى الحاشية 2.5 وإلى الشكل 1.5).

وعلاوة على ما تقدم، فإن مقدرة الماء على إذابة الجزيئات المستقطبة، جعلت منه وسطاً مثالياً لحدوث التفاعلات البيولوجية، والحفاظ في الوقت نفسه على درجة سوية من الحموضة أو القلوية. وتعمل إيونات الماء، مع إيونات الكلور والصوديوم والبوتاسيوم والبكربونات والفسفات والبروتينات الموجودة كلها في مصل الدم كدوارئ [7.5] buffers، tampons (مفردها دارئة)، تحافظ على الرقم الهدرجيني (pH) لوسط الجسم الداخلي، بحيث يبقى قريباً من 7.2 فلا ينخفض مسبباً الحُمَاض acidosis، acidose، ولا يرتفع مسبباً القُلاء alkalosis، alkalose. ويتسبب الحُمَاض أو القُلاء (في الحالات المرضية التي يخفق فيها الجسم في الحفاظ بظاهرة الاستتباب على الرقم الهدرجيني قريباً من 7.2) بأعراض تتفاوت درجات خطورتها، وقد تنتهي بالسبات coma، فالموت.

(7.5) يستعمل سلم مؤلف من 14 درجة لتقدير درجة حموضة سائل ماء. وتعرف درجات هذا السلم بالرقم الهدرجيني أو pH. وعلى الرغم من وجود عدد قليل نسبياً (1×10^{-14}) من جزيئات الماء بحالة متأينة، فإن الماء يكون "حيادياً" تقريباً من الناحية التأينية (ذلك أن عدد H_3O^+ يكون مساوياً لعدد OH^-)، فيكون الرقم الهدرجيني للماء الصالح للشرب قريباً من 7. إن لأشد المحاليل حموضة رقماً هدرجينياً يقارب 1، ولأضعفها (أشدها قلوية) رقماً هدرجينياً يقارب 14. ويؤدي الرقم الهدرجيني دوراً حاسماً في حدوث التفاعلات البيولوجية داخل الخلايا وخارجها. وليس هذا الرقم الهدرجيني سوى تعبير عن تركيز بروتونات الهدرجين في المحلول. وبالنظر إلى أن الحمض يحرر في الوسط المائي عدداً معيناً من البروتونات، فنقول عنه إنه يمنح البروتون. أما الأساس فهو متقبل للبروتون. فالحمض هو أساس مقترن بالبروتون. بناء على ذلك، يمكننا أن نكتب [30].

$$\text{حمض (أحادي الوظيفة)} \rightleftharpoons \text{بروتون } (H^+) + \text{أساس}$$

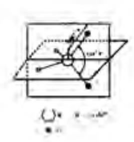
ويمكن، في ما يتعلق بحمض الأسيتيك (الخل)، أن نكتب:

$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$$

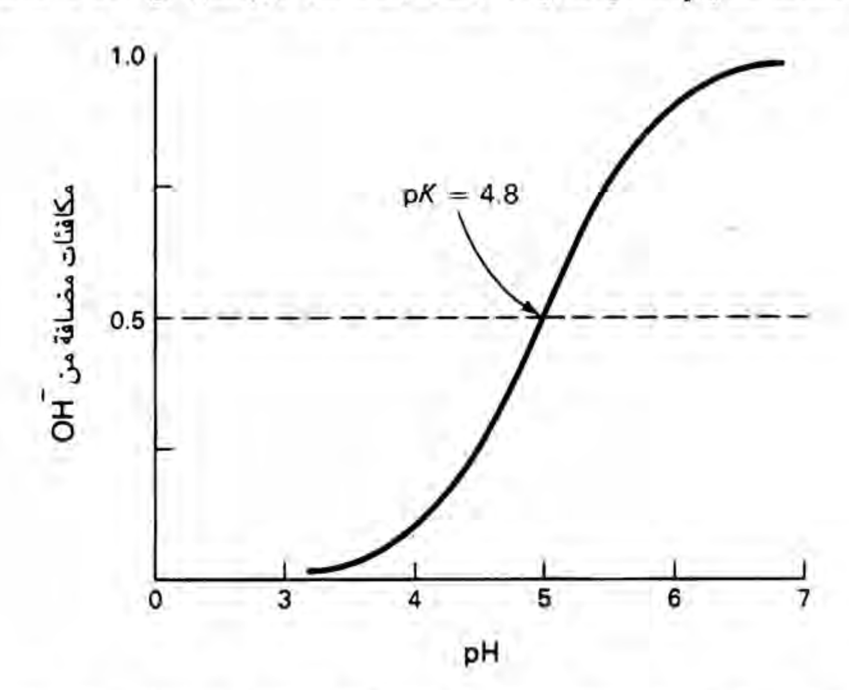
إن الأسيتات (الخلات) المتشكلة نتيجة تأين حمض الأسيتيك هي الأساس الذي نجم عن مفارقة البروتون للحمض. وعلى النقيض من ذلك، فإن ارتباط البروتون بالأساس يؤدي - بداهة - إلى تكون الحمض. فحمض الأسيتيك والأسيتات يشكلان كأيونات شفعاً (زوجاً) مقترناً من حمض - أساس. ويعرف الرقم الهدرجيني pH بأنه اللوغارتم العشري لمقلوب تركيز بروتونات الهدرجين في الوسط، أو:

$$pH = \frac{1}{[H^+]} \log_{10} = -\log_{10}[H^+] \qquad (1)$$

←



وكما يوضح الشكل 5 . 7 فإنَّ لحمض الأسيتيك نقطة معايرة واحدة (أي pK= 8 . 4) . أما حمض الكربونيك، فله نقطتان، ولحمض الفسفوريك ثلاث نقاط . وبدهي أن يشكل حمض الكربونيك؛ دارئة أكثر حماية للوسط (في أثناء تغير الرقم الهدرجيني) من حمض الأسيتيك، وأنَّ حمض الفسفوريك يحمي الوسط أكثر من حمض الكربونيك؛ أي إنَّ امتصاص بروتونات الهدرجين (والحفاظ على الرقم الهدرجيني للوسط) يتزايد مع تزايد عدد الوظائف الحمضية . وبالنظر إلى أن البروتينات تحوي وظائف حمضية عديدة (ممثلة بجذر الكربوكسيل لحمضي الأسبارتيك والغلوتاميك)، فهي تعمل في الخلايا وفي الدم كدارئة ذات كفاية عالية . وإذا كان الرقم الهدرجيني للخلايا وللجسم عامة يبقى بظاهرة الاستتباب ثابتاً تقريباً (2 . 7) على الرغم من تفاعلات الاستقلاب العديدة التي تحرر أو تحتجز بروتونات الهدرجين، فإن الفضل في ذلك يرجع أساساً إلى البروتينات أولاً، ثم الفسفات فالكربونات، وأخيراً الحموض أو الأملاح ذات الوظيفة الأحادية . وكما يتضح من الشكل 5 . 7 فإن قوة الحماية لحمض الأسيتيك (ولغيره من الحموض الضعيفة) تكون قصوى في جوار pK الحمض(بسبب الانعطاف العمودي لمنحنى المعايرة)، حيث إن إضافة كمية كبيرة نسبياً من OH^- لا تحدث إلاّ تغييراً طفيفاً .



الشكل 5 . 7. تمثيل منحنى معايرة حمض الأسيتيك أو حمض الخليك أ, حمض الخل (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 43) .

← إن توازن التأين لحمض ضعيف يعطى بالمعادلة التالية :

$$HA \rightleftarrows H^+ + A^-$$

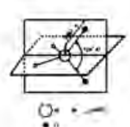
وإن ثابت التوازن K للتأين يعطى بالمعادلة :

$$K = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \qquad (2)$$

ويعرف ثابت توازن التأين pK لحمض ما بالمعادلة :

$$pK = -\log K = \log \frac{1}{k} \qquad (3)$$

←



يمكن الاستنتاج من المعادلة (2) أن pK الحمض، يساوي الرقم الهدرجيني pH عندما تتأين (تتفارق) نصف جزيئات هذا الحمض، أي عندما تكون $[A^-]$ تساوي $[HA]$.

وبالنظر إلى أهمية كل من الرقم الهدرجيني (pH) وثابت توازن التأين (pK) في التفاعلات الكيميائية والبيولوجية، فلقد عمد الباحثان "هندرسون "Henderson" و" هسلبالخ " Hasselbalch إلى اشتقاق هذه العلاقة بدءا من المعادلة (2) بإعادة تراتبها:

$$\frac{1}{[H^+]} = \frac{1}{k}\frac{[A^-]}{[HA]} \qquad (4)$$

فإذا ما استعملنا في المعادلة السابقة (4) لوغارتم هذه القيم، يمكننا أن نكتب:

$$\log\frac{1}{[H^+]} = \log\frac{1}{k} + \log\frac{[A^-]}{[HA]} \qquad (5)$$

وإذا ما عوضنا عن $\log\frac{1}{[H^+]}$ بالرقم الهدرجيني (pH)، وعن $\log\frac{1}{k}$ بثابت توازن التأين pK، فإن المعادلة السابقة (5) تكتب عندئذ على النحو التالي (معادلة "هندرسون هسلبالخ"):

$$pH = Pk + \log\frac{[A^-]}{[HA]} \qquad (6)$$

وبدهي أنه يمكن حساب الرقم الهدرجيني (pH) لمحلول ما بناء على المعادلة السابقة (6) إذا ما علمنا النسبة المولية للأساس A^- إلى الحمض HA، وكذلك قيمة pK. فإذا كان لدينا -على سبيل المثال- محلول من حمض الأسيتيك تركيزه 0.1 مول، وكان تركيز إيونات الأسيتات يساوي 0.2 مول، وكانت قيمة pK لحمض الأسيتيك تساوي 4.8 (انظر الشكل 7.5)، فإن الرقم الهدرجيني (pH) يصبح:

$$pH = 4.8 + \log\frac{0.2}{0.1} = 4.8 + \log 2 = 4.8 + 0.3 = 5.1$$

ومن البدهي أيضاً أنه يمكن حساب pK لمحلول حمض ما إذا كنا نعلم النسبة المولية للأساس A^- إلى الحمض HA، وكذلك الرقم الهدرجيني (pH). ولكي ندلل أكثر على الدور البيولوجي الحاسم للماء، نشير الآن بسرعة (وسنفصل ذلك في الفصل التالي - السابع - من هذا الكتاب) إلى أننا لو انتزعنا جزيئات الماء من حلزون DNA، ADN المزدوج (والتي ترتبط به بروابط هدرجينية محددة)، فإن الشحن السلبية لزمر الفسفات في هذا الحلزون المزدوج، والتي كان الماء "يمتص" جزءاً منها، تصبح ذات قوى تنافر عالية جداً تؤدي إلى تكسر هذا الحلزون المزدوج إلى شدف صغيرة، فيفقد مقدرته على التضاعف، وكذلك وظيفته في الحفاظ على الحياة.

الفصل السادس

السيليكات والجزيئات العضوية

**"How much longer is it till spring ? K. asked. Till spring? Pepi repeated.
Winter has been with us long , a very long winter and monotonous.
But we do not complain about that down there,
we are safe from the winter. Well, yes, some day spring comes
too, and summer , and there is a time for that too ,
I suppose; but in memory , now , spring and summer seem
as short as though they did not last longer than tow days,
even on thos days , even during the most beautiful day ,
even then sometimes snow falls".**

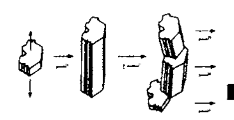
«The Castle» , Franz Kafka (1883-1924)

«كم تبقى لقدوم الربيع؟ سأل K . لقدوم الربيع؟ رددت بيي، لتضيف: الشتاء بيننا منذ زمن طويل، شتاءٌ طويلٌ رتيبٌ ممل. بيد أننا لا نشكو هنا من الشتاء، فنحن بمأمن منه. حسناً، الربيع سيأتي في يوم ما، وكذلك الصيف، وأظن أن له أيامه هو الآخر. ولكن، وكما أذكر الآن، فإنَّ الربيع والصيف يبدوان وكأنهما لم يقيما بيننا أكثر من يومين. حتى في هذين اليومين، حتى في أجمل يوم مر بنا، كان الثلج يتساقط أحياناً».

«فرانز كافكا» **(1883–1924)**، «القلعة».

1.6.مقدمة

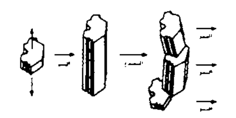
تتمثل الفكرة الرئيسة في موضوعات هذا الكتاب (وكما عرضنا غير مرة) بأن الكون قد نشأ وتطور وفقاً لهدف محدد. إنه تطور موجه ذو معنى لا مكان فيه للمصادفة أو الاحتمال، وكانت الضرورة فيه للسير في اتجاه-رُسم له سلفاً- أمراً محتوماً. لقد سار هذا التطور من الأبسط إلى الأعقد بنية ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية. خرج الكون من الشوش واللاانتظام إلى التراتب والاتساق، فتعاكست بذلك سيرورته مع الأنتروبية (التي سُمح لها أن تفعل فعلها خارج العالم الحي فقط) ومع الشوش أيضاً، وذلك بعد أن أوصل التطور الموجه المادة إلى غايتها في بناء لبنات الحياة. بفعل القوى التكافؤية واللاتكافؤية المسؤولة عن الانتقاء الطبيعي بمفهوم هذا التطور الموجه ذي المعنى. وكان هذا أمراً محتوماً لا يقبل الاحتمال. ونعود لنؤكد أنه لا يمكن للمصادفة أن تؤدي دوراً منطقياً في خلق كونٍ ذي معنى.



وكما كنا عرضنا غير مرة، فالركام الكمومي البدئي (الذي تألف أساساً من نقطة من الطاقة لا نهائية الصِّغَر، وذات كثافة وسخونة لا نهائيتي الكِبَر، تجاوزت جداري «بلانك»)، احتوت على جُسيمات غريبة غير عادية، وعلى رسل أو حوامل القوى الطبيعية(الغرافيتونات والغليونات والفوتونات). ومع أنَّ قوى الطبيعة الأربع كانت معطلة وغير وظيفية، إلا أنها كانت موحدة في قوة واحدة متفردة ذات بنية وتربة غشائية حويصلية، وتألفت متصلة المكان-الزمن فيها من أحد عشر بعداً. وما إن حدث الانفجار الأعظم، وتبردت حرارة الجملة قليلاً حتى، ولدت قوة الثقالة في انتقال طوري انجمادي أول، كسر التناظر الذي كان قائماً حتى تلك اللحظة. أمسكت عندئذ قوة الثقالة بإحدى الفقاعات المتكونة، وبدأت ولادة الكون، وأخذ الشوش بالتراجع، وتزايد الانتظام والاتساق. ثم انكسر التناظر مرة ثانية نتيجة التبرد وحدوث الانتقال الطوري الثاني، فولدت متحررةً القوة النووية الشديدة. وتكونت بعد ذلك الكواركات فالبروتونات (نوى الهدرجين). ثم اتحد بروتونان بعضهما ببعض وشكلا نواة الدوتِريوم، ومن ثم نواة الهليوم (أربعة بروتونات). وفي إثر انكسار التناظر مرة ثالثة (بالتبرد وبانتقال طوري ثالث) وولادة القوة النووية الضعيفة، أسرت البروتونات الإلكترونات، وتشكلت النترونات وكذلك الهدرجين والهليوم. ولقد أدَّت تفاعلات الاندماج النووي الحراري، وامتصاص النترونات، والتلاشي الضوئي، والتشظي النووي إلى تكون العناصر المختلفة (يُرجع إلى الفصل الرابع).

وبالإضافة إلى تشكل الهدرجين والهليوم والكربون والأكسجين، وتكون عدد كبير من المركبات التي احتوت على عناصر ذات أرقام ذرية منخفضة نسبياً (أتى على رأسها الهدرجين والكربون والأكسجين)، وإضافة إلى نشوء الماء، تكون عنصر مهم آخر هو السيليسيوم silicium (Si) ذو الرقم الذري 14 والكثافة 2.35 والذي ينصهر في الدرجة 2 000 سِلسيوس، ويدخل بنسبة عالية جداً في تركيب الطبقة الصلبة للأرض، حيث يلي الأكسجين من حيث الغزارة في هذه القشرة. ولقد استطاع السيليسيوم (كغيره من العناصر) أن يكوّن عدداً من المركبات، أتت أكاسيده في مقدمتها. وكان بوسع الأكاسيد والماء وأشعة الشمس (وبخاصة الأشعة فوق البنفسجية) أن تشكل (بوجود هدرات عناصر أخرى، كالألمنيوم والمغنزيوم والحديد خاصة) أملاح السيليسيوم أوالسيليكات التي تكون المادة الأساسية للصلصال والرمل. ولقد حدث الأمر نفسه (إنما على نطاق أوسع، مشتملاً على عدد أكبر كثيراً من المركبات) في ما يتعلق بالكربون، فتشكلت(بالإضافة إلى كربونات الكلسيوم والمغنزيوم وغيرها) عشرات المركبات الهدروكربونية.

كما استطاع الكربون أن يشرك الأكسجين والآزوت في تكوينه لمركباته، فنشأت جزيئات ذات بنية سلسلية، شكل الكربون والهدرجين هيكلها الأساسي. ومع أنَّ بوسع السيليسيوم - كما هي الحال في ما يتعلق بالكربون - تشكيل أربع روابط تكافؤية، إلا أنَّ هذه الروابط تكون في السيليسيوم أقل مرونة، وأكثر ثباتاً عما عليه في الكربون. وقد تكون قساوة هذه الروابط مسؤولة ولو جزئياً عن توقف تكون مركبات السيليسيوم عند السيليكات، وعن إخفاقه في تكوين جزيئات أقل قساوة وأكثر مرونة، كالمركبات الهدروكربونية، وطلائع الكحولات، ومن ثم أسس البورين والبيريمدين والحموض الأمينية التي شكلت طلائع الجزيئات البيولوجية الكبرية (كالحمض النووي الريبي RNA، ARN في ما يتعلق بأسس البورين والبيريميدين، والبروتينات في ما يتعلق بالحموض الأمينية). ولقد برهنت الدراسات التي أجريت بوساطة المقاريب الراديوية radiotelescopes، radiotélescopes على أن السيليسيوم لم يستطع أن يكوِّن لا في مجرتنا ولا في المجرات المجاورة مركبات يزيد عدد الذرات فيها على أربع. في حين أنَّ كل الجزيئات التي تم اكتشافها كانت كربونية



الهيكل. لذا، فإنه من المستبعد كثيراً أن تكون قد نشأت حياة في كوكب ما، أو في مجرة ما أساسها السيليسيوم. وقد يكون من المفيد أن نعرض لظاهرة الصلصال، حيث تتكون منه بلورات «وحيدات الحجر» monoliths، monolithes، التي تنمو (تستقلب)؛ وتنقسم؛ وتطفر (تغير شكلها): خصائص تتوفر في المادة الحية حصراً.

6.2. السيليسيوم وعالم السيليكات

كما كنا عرضنا في الفقرة السابقة، فإن السيليسيوم يلي الأكسجين مباشرة من حيث غزارته في الطبقة الصلبة للأرض. ولقد اشتقت كلمة سيليسيوم من silex اللاتينية، وتعني حبات الرمل الكبيرة. ويعرف هذا العنصر اللامعدني بالإنكليزية باسم silicon الذي اشتق من دمج كلمتين: silic(a) و carb)on). أما المصطلح silicone بالإنكليزية وبالفرنسية فيعني كيميائياً أياً من المكوثرات polymeres التي تحوي وحدات مكررة من $O-SiR_2$-، حيث تمثل R جذراً ألكيلياً (مثل جذر الميتيل CH_3- أو الإيتيل C_2H_5- ، وهكذا). وتدخل مادة السيليكون في صناعة المركبات البلاستيكية (اللدائنية)؛ ومخففات الاحتكاك، والمواد اللاصقة، وأهم من هذا وذاك في صناعة رقائق الحواسيب وأنصاف النواقل (يوجد في ولاية كلفورنيا في الولايات المتحدة وادٍ مكتظٌ بمراكز تصنيع وتطوير الحواسيب ورقائقها ويعرف بـ «وادي السيليكون» Silicone Valley). وسنعتمد في هذه الدراسة كلمة «السيليسيوم» للدلالة على هذا العنصر وذلك تجنباً لأي التباس.

وكما كنا أشرنا في الفقرة السابقة أيضاً، فإن للسيليسيوم (ورمزه في جدول «مندلييف» الدوري Si) رقماً ذرياً يساوي 14 (أي تحوي النواة 14 بروتوناً)، ووزناً ذرياً قدره 28.086 (أي إن النواة تحوي أيضاً 14 نتروناً). ويأتي هذا العنصر من حيث الغزارة في الطبقات الأرضية الصلبة بعد الأكسجين مباشرة، ويشكل 26 في المئة من كتلة هذه الطبقات. ولا يوجد السيليسيوم بحالة واطنة native (أي طبيعية بدئية) على الإطلاق، وغالباً ما يوجد على شكل أكاسيد تدخل في تركيب الرمال والصخور والصلصال. وتمتلك ذرة السيليسيوم (كالكربون) أربعة تكافؤات، وتنزع (كالكربون أيضاً) إلى تشكيل جزيئات سلسلية أقل طولاً وأشد قساوة. وتجدر الإشارة إلى أنَّ هذا العنصر اللامعدني يوجد في بنية غلف المشطورات diatomes (وحيدات خلية مجهرية تصنف مع الطحالب algae)، وفي رماد النسج النباتية والحيوانية، بما في ذلك النسيج العظمي للإنسان.

وبالنظر للتماثل الذري القائم بين السيليسيوم والكربون، فإن البعض رأى إمكان دراسة مركبات السيليسيوم من خلال طرز المركبات العضوية للكربون. ولكن سرعان ما اتضح أنَّه ليس بوسع السيليسيوم تكوين سلاسل جزيئية طويلة، كما ليس بإمكانه أيضاً تشكيل روابط تكافؤية ثنائية أو ثلاثية (يشكل روابط تكافؤية رباعية فقط ذات قساوة عالية). كما أنَّه ليس بوسع السيليسيوم تكوين نوى عطرية (البنزين ومشتقاته). ونذكر من بين الفروق المهمة التي تميز الكربون عن السيليسيوم أنَّ الرابطة H–Si أقل ثباتاً بكثير من الرابطة H–C، وبخاصة عند وجود المركب الهدرجيني في وسط قلوي. وبالمقابل، وكما عرضنا منذ قليل، فإن بإمكان السيليسيوم الاتحاد بالكربون وتشكيل السيليكون ذي الروابط الثابتة في درجات عالية من الحرارة، والتي تقاوم فعل الحموض والأسس. لذا، فإنَّ المركبات السيليكونية تستعمل في صناعات واسعة خاصة بها، تتراوح بين المركبات السائلة واللزجة واللاصقة والبلاستيكية القوام والصلبة، التي تدخل في صناعة أنصاف النواقل ورقائق الحواسيب. ويتوقف قوام مركبات السيليكون (من السائل إلى الصلب) على

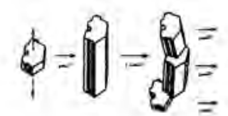
الروابط التصالبية بين جزيئات المكوثر، وعلى كمية مسحوق السيليسيوم التي توجد في المركب، وعلى طول المكوثر.

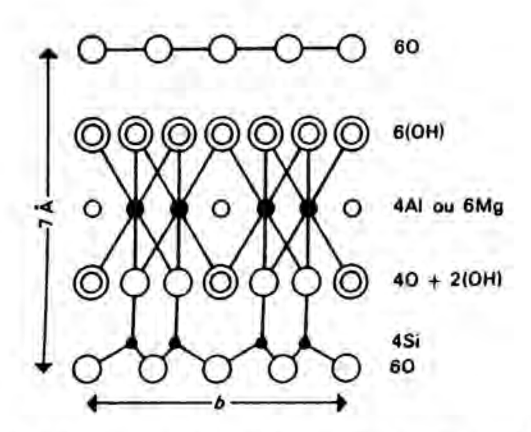
أما في ما يتعلق بالخصائص الكيميائية الأساسية للسيليسيوم، فإن الوزن الذري (28.086) يمثل مزيجاً من ثلاثة نظائر مستقرة (1.6)، ولا يوجد السيليسيوم في الطبيعة على الإطلاق بحالته البدئية الواطنة، بل يوجد دائماً على شكل مزيج. وكما كنا عرضنا، فإنّ بوسع السيليسيوم تشكيل أربع روابط تكافؤية تماثل فراغياً روابط الكربون. ولعل أهم الحموض التي يشكلها السيليسيوم هو حمض الأورتوسيليسيك (H_4SiO_4) الذي يشكل سيليكات الألمنيوم، وسيليكات الحديد والكلسيوم، وغيرها من مركبات الطبقة اليابسة lithosphere، lithosphère للأرض. ولقد أوضح التحليل الكيميائي أن هذه الطبقة الحجرية الترابية، تتألف من ثمانية عناصر فقط، كلها ذات أرقام ذرية منخفضة، يختتم الحديد فيها سلسلة الاندماجات النووية التي أدت إلى تكون هذه العناصر. ويمثل الأكسجين العنصر السائد بين هذه العناصر الثمانية، حيث يشكل 46.60 في المئة، ويأتي بعده (كما سبق أن عرضنا) السيليسيوم بنسبة 27.72 في المئة. وهكذا، فإن هذين العنصرين يشكلان بمفردهما قرابة ثلاثة أرباع (74.32 في المئة) تلك الطبقة. أمَّا العناصر الستة المتبقية فهي الألمنيوم (8.13 في المئة)، والحديد (5.00 في المئة)، والكلسيوم (3.63 في المئة)، والصوديوم (2.83 في المئة)، والبوتاسيوم (2.59 في المئة)، والمغنزيوم (2.09 في المئة). ولايتبقى من تركيب يابسة الأرض سوى 1.41 في المئة موزعة بين بقية العناصر التي يمكن نسبياً اعتبارها عناصر أثر، وتشمل معظم عناصر الجدول الدوري، بما في ذلك العناصر ذات الأرقام الذرية المرتفعة، كالذهب واليورانيوم. وعلى اعتبار أن لايون الأكسجين قطراً يساوي 1.32 أنغستروماً، فإن ذرة الأكسجين تؤلف 90 في المئة من حجم الطبقة اليابسة للأرض، ذلك أن إيونات الأكسجين السلبية تترابط فيما بينها بالأيونات الموجبة لكل من السيليسيوم والألمنيوم والحديد والكلسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنزيوم. وتشكل سيليكات الألمنيوم للبوتاسيوم والصوديوم (الفلسباس feldspaths) بمفردها 60 في المئة من كتلة اليابسة، ويشكل الكوارتز 12 في المئة، ويُعدُّ واحداً من أهم أنواع السيليس المتبلور، ويتألف من تراتب ذرات أكسيد السيليسيوم - الألمنيوم ذي الصيغة $(Si, Al)O_2$. أما في ما يتعلق بأنواع الصلصال (الطين) clay، argile، فتتألف أساساً من هدرات سيليكات الألمنيوم، التي يمكن تمثيلها بالصيغة $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ مثل الكاولينيت kaolinite والسربنتين serpentine الشكل (1.6).

وإذا كنا توسعنا نسبياً في عرضنا لخصائص السيليسيوم، فإن ما يهمنا من هذا الموضوع يتمثل بالنواحي التالية: تشابه كيمياء السيليسيوم مع كيمياء الكربون (ولو جزئياً)؛ وغزارة مركبات السيليسيوم (وبخاصة السيليكات) في اليابسة،

(1.6) يشكل ^{28}Si مقدار 92.27 في المئة من مزيج النظائر المستقرة، في حين أنّ ^{29}Si يكوّن 4.68 في المئة. أمَّا ^{30}Si فيشكل 3.05 في المئة [33]. وكما هي الحال في الماس والجرمانيوم، فإن السيليسيوم يوجد بشكل متبلور ثابت واحد يأخذ شكل المكعب، حيث تبعد الذرة عن الأخرى مقدار 2.35 أنغستروماً، في حين يبلغ طول القطر الذري 1.17 أنغستروماً. أمَّا في ما يتعلق بشاكلة configuration السيليسيوم (أي مداراته الإلكترونية)، فلها الصيغة التالية: $1S^2, 2S^2, 2P^6, 3S^2, 3P^2$ (أي 14 إلكتروناً). فالروابط التكافؤية تتشكل بتهجين جزيئي، يشترك فيها المداران $3S^2$ و $3P^2$ (يُرجع إلى الحاشية 2.5). والسيليسيوم المزيج ضعيف الفاعلية، إنما يحترق بالأكسجين بتفاعل ناشر للحرارة، ويتشكل أكسيد السيليسيوم SiO_2 ويتفاعل بسهولة مع الماء. ويشكل السيليسيوم مع الهدرجين مركبات مشبعة تماثل تماماً المركبات الهدروكربونية، حيث يحل السيليسيوم مكان الكربون، فتأخذ هذه المركبات الصيغة المعروفة التالية: $Si_nH_{(2n+2)}$. ويسمى SiH_4 مُماثلةَ السيليكوميتان (أو السيلان الأحادي، أو ببساطة السيلان)، وSi_2H_6 السيليكوإيتان، وهكذا. كما يمكن للسيليسيوم أن يشكل مركبات دورية من النمط $(SiH_2O)n$، وتعرف بالسيكلوزيلوكسان cyclosiloxane، التي تُذكِّر كثيراً (من حيث الصيغة الكيميائية فقط) بمركبات الكربون$(CH_2O)n$، كالسكاكر مثلاً.

33. Calas, R., " **Encyclopaedïa Universalis**" ,Vol. **14** , Pp. 1034 – .1037 Paris (1980).



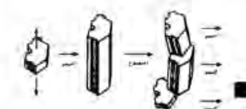


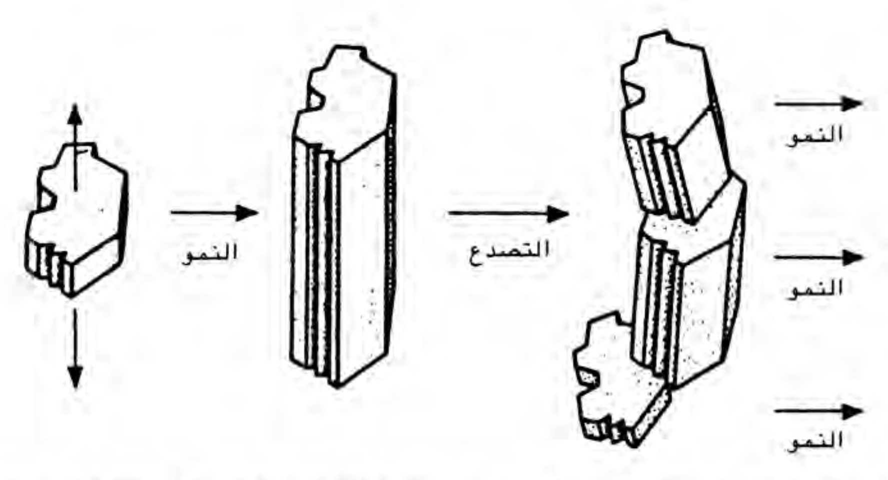
الشكل 6. 1. مخطط ترسيمي لصيغة الكاولينيت والسبرنتين الكيميائية كبنية بلورية دُرست بوساطة انعراج الأشعة السينية بميز قدره 7 أنغستروم. تمثل الدوائر الفارغة ذرات الأكسجين، والدوائر السود الكبيرة ذرات الألمنيوم، والسود الصغيرة ذرات السيليسيوم، والدوائر المزدوجة جذور الهدركسيل. وتشير الأرقام على يمين الشكل إلى أعداد الذرات في الوحدة البلورية التي تتكرر عدداً كبيراً من المرات [عن .Wyarty, J.".**Encyclopaedia Universalis.**" Vol. **14**, 1018-1026 (1980) Paris].

وخصائص الصلصال، وتكوينه مركبات يمكن أن تشكل لبنات، تبنى منها جزيئات كِبرية، حيث يمكن لهذا الصلصال (وبخاصة الطين) أن يشكل بوجود الماء بيئة ملائمة لبناء هذه الجزيئات الكبرية، **وأخيراً الخصائص التي تتمتع بها السيليكات، وتتمثل بتشكيلها بلورات بوسعها أن تستقلب وتنمو وتنقسم (انتقال المعلومات من جيل إلى آخر) وتغير شكلها.**

ومع أنَّ الدراسات التي أجريت بوساطة المقاريب الراديوية (يرجع إلى الفقرة 6. 1)، أخفقت في إيجاد أي دليل على وجود مركبات سيليسية (لا في مجرتنا ولا في المجرات المجاورة)، يمكن أن تؤدي دوراً مماثلاً لدور الكربون في تكوينه مركبات تملك الخصائص المؤهلة لتشكيل لبنات بناء الجزيئات البيولوجية (وبخاصة الحموض النووية والبروتينات، أي النكليوتيدات والحموض الأمينية)، على الرغم من هذا، يبدو أنه من المفيد إمعان النظر في خصائص بلورات الصلصال المنوه بها آنفاً [**الاستقلاب والنمو والانقسام (نقل المعلومات) وتغيير الشكل**].

ولعل قصة وحيدات الحجر monoliths، monolithes (من الفرنسية monolithe، من اللاتينية monolithus، من اليونانية monolithos، من mon- وحيد، و lithos حجر، حجر وحيد ضخم غالباً ما يأخذ شكل العمود أو المسلَّة obelisk، obélisque، أي عمود رباعي الأضلاع أو السطوح وهرمي الرأس)، لعل هذه القصة مثقفة في هذا الخصوص. وتوجد وحيدات الحجر أحياناً في جبال معينة كأعمدة طبيعية منتظمة الشكل، وتبدو وكأنها صنعية، أقامتها نحتاً أقوام بشرية عملاقة (كإرم ذات العماد). فلقد أنتجت سينما «هوليوود» Hollywood عام 1957 قصة سينمائية خيالية عنوانها « مسوخ وحيدات الحجر [16] The Monolith Monsters ». ويحكي الفيلم السينمائي قصة شكل من حياة قوامها السيليسيوم (السيليس والسيليكات)، استوطنت الأرض بوساطة نيزك سقط عليها. وقامت هذه الأجسام الغريبة بامتصاص السيليسيوم الموجود في الصخور والرمال الأرضية. وتضخمت هذه الأجسام، وتحولت إلى وحيدات حجر عالية القد، ما لبثت أن سقطت أرضاً لتتكسر إلى أعمدة صغيرة، سرعان ما نمت متحولة إلى وحيدات حجر ضخمة. وهكذا تكاثرت هذه المسوخ الحجرية وفقاً لدورة «حياة» راسخة (الشكل 6-2). ووصل توتر الرأي العام في الولايات المتحدة ذروته عندما هددت غابة من وحيدات الحجر بمحق جمهرة سكانية تستوطن صحراء ولاية أريزونا. ولقد تم في





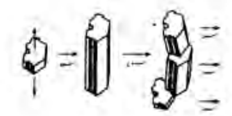
الشكل 6 .2. مخطط ترسيمي لنمو البلورات وانقسامها مقتبساً من فيلم «مسوخ وحيدات الحجر» (عن Casti,1991، المرجع 16، ص. 111).

اللحظة الأخيرة إيقاف هجمة هذه المسوخ الحجرية عندما كانت على أبواب القرية وذلك لدى اكتشاف بطل القصة - وهو عالم ذو ذكاء استثنائي- بأنه يمكن إيقاف هجمة هذه المسوخ بوساطة ملح ماء البحر . وبغض النظر عن علمية هذه القصة التي حاولت تصوير نوع من الحياة أساسها السيليسيوم، فإن موضوع الفيلم يُعدُّ محاولة من قبل مخرج الفيلم لتأمل مُسَلٍّ في وجود أحياء من طبيعة سيليسية . ولقد استعاد مؤخراً الباحث الإسكتلندي «كيرن-سميث» Cairns-Smith [35,34] هذا التأمل، ليصيغ فرضية (أو حتى نظرية) ترى أن للحياة أصلاً مزدوجاً: حياة في الصلصال، تطورت لتعطي مركبات عضوية أنشأت حياة الكربون. ذلك إن تطور حياة الصلصال توقف عندما تمكنت من تشكيل شريطة تحولت إلى الحمض النووي الريبي (ARN,RNA)، وحل فيها الكربون ومركباته الحلقية والعطرية محل مركبات السيليسيوم، فنشأت حياة جديدة هي حياة هذا الحمض والبروتينات الأولى التي تطورت بدورها إلى عالم اليوم (عالم الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (ADN,DNA)، (هذا موضوع سنعرض له بالتفصيل في الفصل السابع من هذا الكتاب عند الحديث عن نشوء الحياة).

6 .3. الكربون والمركبات العضوية

كما كنا عرضنا في الفقرة السابقة (2.6) ، فإنَّ هنالك تماثلاً واسعاً بين الكربون والسيليسيوم، يرجع أساساً إلى أنَّ بوسع كل منهما أن يشكل أربع روابط تكافؤية تكون في السيليسيوم أكثر قساوة مما هي عليه في الكربون. وعلى الرغم من أنَّ السيليسيوم يأتي كعنصر ثانٍ بعد الأكسجين من حيث الغزارة في الطبيعة (72 .27 في المئة)، وأنَّ الكربون يمثل العنصر الرابع عشر من حيث غزارته (8 .0 في المئة فقط) من كتلة اليابسة والغلاف الجوي، فلقد نجح الكربون (بسبب روابطه التكافؤية المرنة) حيث أخفق السيليسيوم، فاستطاع أن يشكل (وربما أيضاً بسبب كتلته الذرية المنخفضة بالنسبة للسيليسيوم، أي 12 مقابل 28) نوى عطرية aromatic، aromatique (البنزين ومشتقاته) من جهة، ومركبات أخرى دخل الآزوت في بنيتها من جهة أخرى. وأمكن، بدءاً من هذه النوى العطرية، تشكيل اللبنات الأساسية (النكليوتيدات) للحموض النووية، والحموض الأمينية التي تمثل الوحدات الأساسية للبروتينات. وكما سنرى في االفصل التالي - السابع- من هذا الكتاب، فإنَّ مركبات الكربون هذه تفوقت في خصائصها على مركبات السيليسيوم، وأدت إلى توقف

34. Cairns-Smith.A.G., "**Genetic Takeover**" . Cambridge University Press, Cambridge, England (1982).
35. Cairns-Smith, A. G., "**Seven Clues of The Origin of Life**". Cambridge University Press, Cambridge , England (1985).

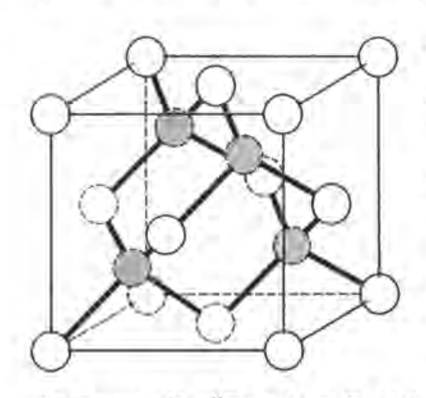


تطور «حياة» هذا العنصر، لتسود حياة جديدة هي حياة عالم الحمض النووي الريبي والبروتينات (يُرجع إلى نهاية الفقرة السابقة 2.6). **فإذا كان نشوء الحياة منوطاً بخصائص جزيء الماء، فإنَّ تطورها الموجه ذا المعنى(من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأجود أداء وفاعلية) يرتبط أيضاً بكيمياء الكربون. إنَّ هذا النشوء وهذا التطور أتيا نتيجة توجيه بالحتمية والضرورة، ولم تؤدِ المصادفة أي دور في هذا الخلق.** وعلينا أن نؤكد أنَّ على إنسان القرن الحادي والعشرين أن يتعافى من جشعه المادي المرضي، ويبدي المسؤولية الكافية للحفاظ على الحياة بإصلاح ما أفسده من تلويث للماء، وتشويه لليابسة، وتخريب للغلاف الجوي بما يطرح فيه من ثاني أكسيد الكربون.

والكربون (كالسيليسيوم) عنصر[2.6] لا معدني، يدخل في تركيب عدد كبير من المواد، ويختزن الطاقة في مركباته المرجعة (وبخاصة الهدروكربونيات) التي تحترق (تتأكسد) متحولة إلى ثاني أكسيد الكربون وكمية معينة من الطاقة. ولقد استطاع الكربون الاتحاد بكل من الهدرجين والآزوت ليشكل حمض السيانيدريك HCN، ويتحد بالأكسجين جزئياً ليكون زمرة الكربونيل C=O-، والفورم ألدهيد. كما تتأكسد الهدروكربونيات جزئياً لتعطي الكحولات (الميتانول والإيتانول ...)، التي تتأكسد مرة ثانية، لتشكل الألدهيدات، فالحموض العضوية (الكربوكسيلية). كما استطاع الكربون أن يشكل الألدهيدات ومركبات يدخل فيها الكربون مع كل من الهدرجين والأكسجين بنسبة وجود هذين العنصرين في الماء، لتتكون السكاكر ذات الصيغة المعروفة $(CH_2O)_n$.

وعلى ما يبدو، فلقد استطاع مزيج ثاني أكسيد الكربون والأمونياك والماء أن يتكثف بظروف خاصة ليكون بعض الحموض الأمينية، لبنات بناء البروتينات. وكما سنعرض في الفصل التالي (الفصل السابع)، فإن الإنجازين المهمين اللذين حققهما الكربون (سواء في الصلصال، أو في الماء، أو في الغلاف الجوي)، يتمثلان أولاً بتشكيل طلائع الأسس (القواعد) الآزوتية، هذه الأسس نفسها هي التي شكلت مع الفسفات والريبوز (سكر يحوي الجزيء منه خمس ذرات من الكربون)، وأخذ اسمه من الأحرف الأولى لمعهد «روكفلر» للكيمياء الحيوية Rockfller Institute of Biochemistry (حيث اكتُشف هذا السكر)، ومن اللاحقة ose-، وتعني «كربوهدرات»، أو «سكر»، شكلت إذاً نكليوتيدات شريطة الحمض النووي الريبي؛ الأمر الذي تسبب في توقف تطور «حياة» الصلصال. أمَّا الانجاز الثاني، فيتمثل بتشكيل السلاسل الببتيدية والبروتينات عامة المسؤولة عن الخصائص البنيوية والوظيفية للكائنات الحية كافة. وكما سنعرض لاحقاً، فإنَّ الحمض النووي الريبي (RNA، ARN) استطاع أن ينشئ عالماً حياً خاصاً به، اندثر كلياً تقريباً في ما بعد (كما توقف قبله تطور « حياة » الصلصال)، ليفسح المجال أمام عالم جديد أكثر تعقيداً وكفاية، هو عالم

(2.6) تحوي نواة الكربون ستة بروتونات (رقمه الذري إذاً هو 6) وستة نترونات، وشاكلته الإلكترونية (المدارات الإلكترونية) هي $_1S^2, _2S^2, _2p^2$؛ أي إلكترونين في الطبقة k وأربعة في الطبقة L، فتكافؤه هو إذاً أربعة. وتبلغ كثافة الكربون 3.52، وله نظيران مستقران (ثابتان)؛ هما 12^{36}، و(ويشكل 98.9 في المئة)؛ و14 (1.1 في المئة). أمَّا النظائر المشعة فهي 9 و 10 و 11 و 14 و 15. ويبلغ قطره الذري 0.8 أنغستروماً، ودرجة حرارة انصهاره 3 500 سلسيوس، ودرجة غليانه 4 700 مئوية. ويتبلور الكربون في شروط معينة فيعطي الماس (الشكل 3.6).



الشكل 3.6. مخطط ترسيمي للبنية المكعبة للماس. تحوي البلورة ذرة كربون مركزية تحيط بها أربع ذرات تشكل ذُرى رباعي السطوح (عن Brusset,1980، المرجع 36، ص. 931).

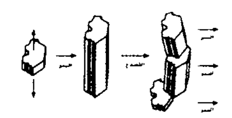
36. Brusset, H., "**Encyclopaedia Universalis**", Vol. **3**, Pp. 931-937, Paris (1980).

الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (ADN ، DNA) ذي الحلزون المزدوج. ولئن نجح الكربون في مسيرته لتشكيل مركبات ذات تركيب أعقد وأداء أكبر، وأخفق السيليسيوم في تكوين مركبات قادرة على منافسة مركبات الكربون، فإن الفضل الأساسي في ذلك يرجع إلى ليونة روابط الكربون التكافؤية الأربع، وإلى صغر كتلته الذرية، وإلى تفاعله غير العنيف مع كل من الماء والأكسجين، بعكس ما يحدث تماماً للسيليسيوم. لذلك استطاع الكربون أن يشكل مركبات عطرية آزوتية (أسس البورين Purine والبريميدين Pyrimidine، ومن ثم النكليوتيدات)، وحموضاً أمينية، فسلاسل ببتيدية وجزيئات بروتينية، لبنات صرح الحياة، في الوقت الذي توقف فيه تطور «حياة» السيليسيوم في الصلصال عند تكون وحيدات الحجر، وأنواع البلورات الأخرى التي اكتسبت (بتقنية خفيفة) خصائص الاستقلاب والنمو والانقسام وتغيير الشكل، وهذه خصائص استعارتها مركبات الكربون وطورتها «بتقنية أعلى» لتبني حياة جديدة هي حياة عالم RNA ، ARN، وهذا موضوع سنعرض له في الفصل التالي (السابع) من هذا الكتاب. وتجدر الإشارة إلى أن مركبات الكربون استطاعت أن تقيم فيما بينها ومع الماء أيضاً روابط (أو قوى) لا تكافؤية عكوسة، أدت دوراً حاسماً في تشكيل البنية ثلاثية الأبعاد للجزيئات البيولوجية، وفي قيام هذه الجزيئات بوظائفها البيولوجية الأساسية والضرورية بداهة لنشوء الحياة واستمرارها وتطورها. **ويمكن، ببعض التحفظ، إجراء مقارنة بين هذه القوى الأربع من حيث أهميتها لحدوث التفاعلات البيولوجية، وبين القوى الطبيعية الأربع من حيث دورها في نشوء المادة اللاحية** (يُرجع، من أجل هذه المقارنة، إلى نهاية الفقرة 2. 5).

6 . 4. القوى اللاتكافؤية وزمرة الفسفات

نعتقد أنه أضحى بإمكان القارئ أن يقيم علاقة سببية، توغل في الزمن بين اللحظة صفر (حيث الركام الكمومي والقوة الطبيعية المتفردة المتمثلة بأوتار وأغشية متصلة المكان-الزمن ذات الأحد عشر بعداً)، لحظة حدوث الانفجار الأعظم، وبين بدء ولادة قوة الثقالة، أو بدء بداية نشوء الكون، ثم تحرر القوى الطبيعية الثلاث الأخرى، وتكون الكواركات وأسر البروتونات للإلكترونات، وتكون بذور البداءات الأولى للمجرات الحالية، متمثلة بالركام الكوني، وبما يحويه من هدرجين وهليوم ومواد أخرى عديدة. لقد أدت هذه السيرورة الموجهة ذات المعنى إلى تكون الماء، ومركبات سيليسية، وأخرى كربونية بسيطة، شكلت بدروها مركبات سيليسية وكربونية أعقد. لقد أضحى بإمكان القارئ إذاً أن يذهب في الزمن من اللحظة صفر حتى حقبة المليار الثامن من السنين (بعد اللحظة صفر)، حيث تشكلت أبسط الكائنات الحية، وذلك في إثر انقضاء أقل من مليار عام على ولادة الأرض (حدث الانفجار الأعظم -أي اللحظة صفر من عمر الكون- قبل 4. 13 ± 6. 1 مليار عام، وولدت الأرض بعد مرور ثمانية مليارات عام على هذه اللحظة). **إن هذه السيرورات التي امتدت أكثر من اثني عشر مليار عام اشتملت على ملايين (إن لم يكن مليارات) الحادثات والتفاعلات والمواد، وأدت إلى تشكل جزيء الماء على نحو محدد تماماً (رباعي سطوح غير نموذجي تبلغ زاويته 104 درجة و 47 دقيقة، ليس أكثر وليس أقل)، وإلى تكون السيليكات ثم المركبات الكربونية التي أشرنا إليها في الفقرة السابقة** (3.6)**. فلو تصورنا أنّ تغيراً طفيفاً جداً (أقل من تعديل بسيط يطرأ على الرقم خمسين مثلاً بعد الفاصلة**

(3.6) I. **القوة أو الرابطة الهدرجينية**: كما كنا عرضنا، فإن الرابطة الهدرجينية hydrogen bond، liason d' hydrogène نشأت نتيجة استقطاب جزيء الماء بسبب وجود شفعين طليقين من إلكترونات الطبقة L من ذرة الأكسجين، واتخاذ الجزيء شكل رباعي وجوه غير مثالي بزاوية قدرها 75. 104 درجة. إن استقطاب الجزيء مسؤول عن خصائص الماء كوسيط لنشوء الحياة واستمرارها وتطورها وعن كونه مذيباً للجزيئات ←



العشرية) قد طرأ على شحنة الكوارك، أو الإلكترون، أو قوة الثقالة، أو سرعة الضوء، أو سبين (تدويم) أحد الجُسيمات العنصرية، أو متوسط بعد الأرض عن الشمس، أو ... آلاف الثوابت الرقمية الطبيعية (التي خُلقت مع الكون والتي يكتشفها الإنسان كما هي ولا علاقة له إطلاقاً بحقيقة وجودها)، لو تصورنا ذلك، لما تكون الماء ولا السيليسيوم ولا الكربون ... فالقول إنّ نشوء الحياة ارتبط بشكل رباعي السطوح لذرة الماء، وبالروابط التكافؤية الأربع اللينة للكربون هو من قبيل تبسيط الأمور. إن نشوء «حياة» السيليسيوم، ومن ثم حياة الكربون على سطح الأرض ليس سوى سيرورة حتمية، وضرورة إلزامية، حُدد اتجاهها مسبقاً منذ أكثر من اثني عشر مليار عام، واشتملت على عدد هائل من الثوابت الرقمية، لو حدث وتغير مقدار ضئيل جداً من أحدها، انقطعت السلسلة وتلاشى الصرح كلياً. ولكن جرياً على التبسيط الذي انتهجناه في الفصل السابق وفي هذا الفصل، فإننا أولينا وسنولي الماء والكربون (النتاج الحتمي لتأثرات ملايين الحادثات والتفاعلات والمواد، واللذين تكونا كضرورة حتمية لتطور موجّه الخطا ومحدّد المسار) أهمية خاصة.

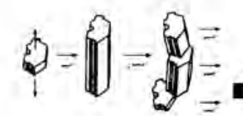
6.4.1. القوى اللاتكافؤية

لقد أقام الماء بين جزيئاته ما كنا أطلقنا عليه اسم القوة أو الرابطة الهدرجينية (يُرجع إلى الفقرة 3.5). كما أنّ جزيئات الماء أنشأت هذه القوة أو الرابطة بينها وبين المركبات الأخرى الموجودة في الوسط المائي. إنّ هذه الرابطة تتمتع بأهمية حاسمة في ما يتعلق بتفاعلات مواد الحياة، وتكوين بنى هذه المواد. وتتصف هذه الرابطة بضعفها، ومن ثم بعكوسيتها، أي إنها (وخلافاً للقوة أو للرابطة التكافؤية التي يترافق تكونها بتحرر كمية كبية جداً نسبياً من الطاقة، كما يتطلب تحطيمها الكمية نفسها التي صرفت على تكونها)، تتشكل وتزول بمستويات منخفضة نسبياً من الطاقة.

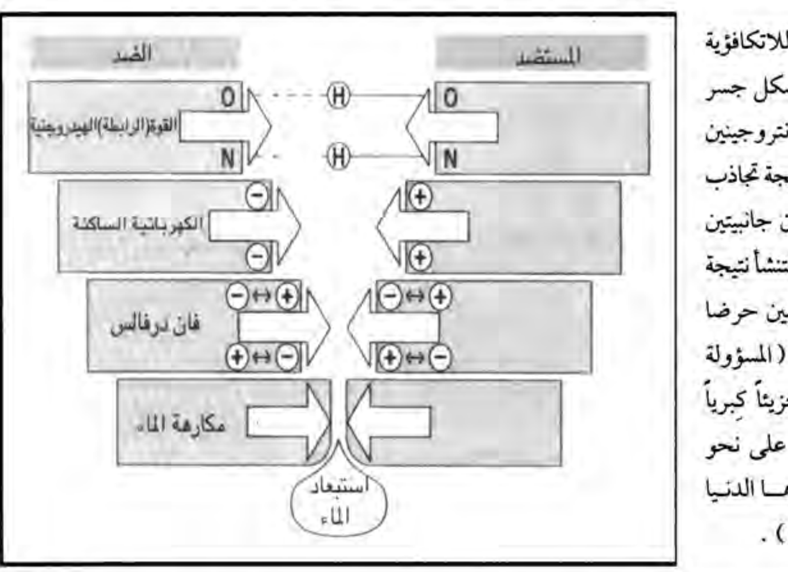
←المستقطبة كافةً، وعن نقطة الغليان المرتفعة نسبياً، مقارنة مع مواد يفترض أنها قريبة منه كيميائياً، كسلفيد الهدرجين H_2S مثلاً. وتعد القوة أو الرابطة الهدرجينية مسؤولة (مع غيرها من القوى أو الروابط اللاتكافؤية الثلاث الأخرى) عن البنية ثلاثية الأبعاد للجزيئات الكبرية (وبخاصة الحموض النووية والبروتينات) التي تمنحها وظائفها الخاصة بها. وتعمل القوة أو الرابطة الهدرجينية كجسر يربط بين ذرة سلبية لشحنة الأزوت أو الأكسجين (وأحياناً الفلور)، وبين ذرة الهدرجين. ويمكن القول (بناء على توزع الشحنات على البنى المترابطة، وعلى وجه التخصيص الزمر أليفة الماء؛ وأهمها OH^- و NH_3^+ و COO^-) إن الرابطة الهدرجينية هي في معظمها من طبيعة كهربائية ساكنة (يُرجع إلى الشكل 6.4). ونظراً لشيوع كلمة « رابطة » في التعبير عن هذه الخاصة الطبيعية أكثر من كلمة «قوة»، فإننا سنستعمل الكلمتين ترادفياً، علماً بأن هذه الرابطة هي تعبير عن القوة نفسها التي هي السبب في تشكل هذه الرابطة، وسنعمد إلى الإجراء نفسه في حديثنا عن بقية القوى اللاتكافؤية الثلاث الأخرى، فنستعمل تعبير «رابطة» أو «قوة» على نحو ترادفي.

وتعد الرابطة الهدرجينية رابطة ضعيفة، وتبلغ الطاقة اللازمة لتشكلها (أو لتحطمها) 4 500 كالوري / مول. وتتحطم هذه الرابطة المسؤولة عن تشكل الحلزون المزدوج لشريطي DNA، ADN بالدرجة 70 سلسيوس على الأقل (ظاهرة التمسخ denaturation، dénaturation)، لتعود وتتشكل عند تبرد المحلول (ظاهرة الإسقاء annealing أو التصلب). وتنشأ معظم الروابط الهدرجينية في البروتينات نتيجة تشارك الأزوت في زمرة الأمين NH^-، والأكسجين في زمرة الكربونيل CO^-، لهدرجين الزمرة NH^-–، فتتشكل الرابطة -CO····HN-. فالرابطة الهدرجينية تتشكل إذاً نتيجة نزوع ذرة الهدرجين لتقاسم ذرة الأكسجين الإلكترونات الخاصة بهذه الذرة الأخيرة، والذي ينجم أساساً عن بنية رباعي السطوح الذي يحوي في أحد الطرفين سحابتين سلبيتي الشحنة، تقابلهما في الطرف الآخر سحابتان موجبتا الشحنة. لقد أمكن التأكد مؤخراً من افتراض الكيميائي الأمريكي « لينوس كارل بولينغ » Linus Carl Pauling (1901–1994) الذي نال جائزة نوبل مرتين: الأولى عام 1954 في الكيمياء، والثانية عام 1962 للسلام بسبب مناهضته للأسلحة النووية. لقد افترض «بولينغ» عام 1935 أن الشفعين (الزوجين) الإلكترونيين (إلكترونين من الأكسجين يتشافعان مع إلكتروني الهدرجينين، ليشكلا الرابطتين التكافؤيتين لجزيء الماء)، ينتشران[37] ضمن الجزيء (ولا يقتصران في تدويمهما من ودورانهما على مدار مشترك واحد بين الأكسجين والهدرجينين)، ليمنحا القوى أو الروابط الهدرجينية ضمن جزيئات الماء والجليد (والتي تنشأ نتيجة القوة الكهربائية الساكنة) قوة إضافية، تمتن هذه الروابط أكثر فأكثر، ومن ثم تفسر بعض خصائص الماء الفريدة. فالقوى أو الروابط الهدرجينية في الماء والجليد لا تنشأ نتيجة تأثير القوة الكهربائية الساكنة (تجاذب طرفين أحدهما موجب والآخر سلبي) فحسب، بل يأتي جزء من هذه القوة من انتشار الإلكترونات الأربعة المتشافعة في رابطتين تكافؤتين باتجاه الروابط الهدرجينية [37]. ←

37. Hellemans , A, Science , **283** , 614-615 (1999).



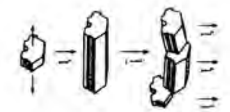
إن هذا التشكل والاضمحلال اليسيرين نسبياً يمثلان العكوسية. إن وجود الجزيئات الكبرية (والبيولوجية منها خاصة) في الوسط المائي أقام بينها، بالإضافة إلى القوة أو الرابطة الهدرجينية، ثلاثة أنواع(3.6) من القوى أو الروابط اللاتكافؤية (الشكل 6-4)، وهي: القوة أو الرابطة الكهربائية الساكنة electrostatic، électrostatique التي تتشكل بين زمرتين كيميائيتين لهما شحنتان متعاكستان (مثل COO^-- و NH_3^+-)، والقوة أو الرابطة المكارهة للماء hydrophobe التي تنشأ بين الجزيئات التي تكاره الماء (كجذور الميتيل والإيتيل والفينيل، ومسؤولة عن قساوة الشمع مثلاً)، وأخيراً القوة أو الرابطة التي تنشأ بين سحابتي الإلكترونات لجذرين متقابلين دخلا في حالة رنين resonance، résonance إلكتروني، ويطلق عليها اسم قوة أو رابطة «فان درفالس» van der Waals (يُرجع إلى الشكل 6-4). **إن هذه القوى، وكذلك القوى التكافؤية (كجزء من القوى الطبيعية الأربع إرادة الله) مسؤولة (بتأثيرها في مكونات الوسط ومعالمه، وبتآثرها فيما بينها) عن الانتقاء الطبيعي الموجه الذي يُعتبر محرك تغير بنى الكائنات الحية.**



الشكل 6 .4. مخطط ترسيمي للقوى أو الروابط اللاتكافؤية الأربع. تنشأ القوة أو الرابطة الهدرجينية نتيجة تشكل جسر هدرجيني بين ذرتين ملائمتين (بين أكسجينين أو نتروجينين مثلاً). وتنشأ القوة أو الرابطة الكهربائية الساكنة نتيجة تجاذب زمرتين متخالفتي الشحنة، توجدان على سلسلتين جانبيتين لجزيئين بروتينيين. أما قوة أو رابطة فاندرفالس، فتنشأ نتيجة تآثر سحابتين إلكترونيتين (مُثّلتا في الشكل كقطبين حرضا على التذبذب). وتنشأ القوة أو الرابطة مكارهة الماء (المسؤولة عن نصف مجموع قوى الترابط الأربع التي تربط جزيئاً كبرياً بآخر) نتيجة ترابط زمر لا قطبية مكارهة للماء على نحو تصبح كمية الماء بين الجزيئين المترابطين في حدودهــا الدنيا (عن Roitt et al.1993، المرجع ، ص. 601).

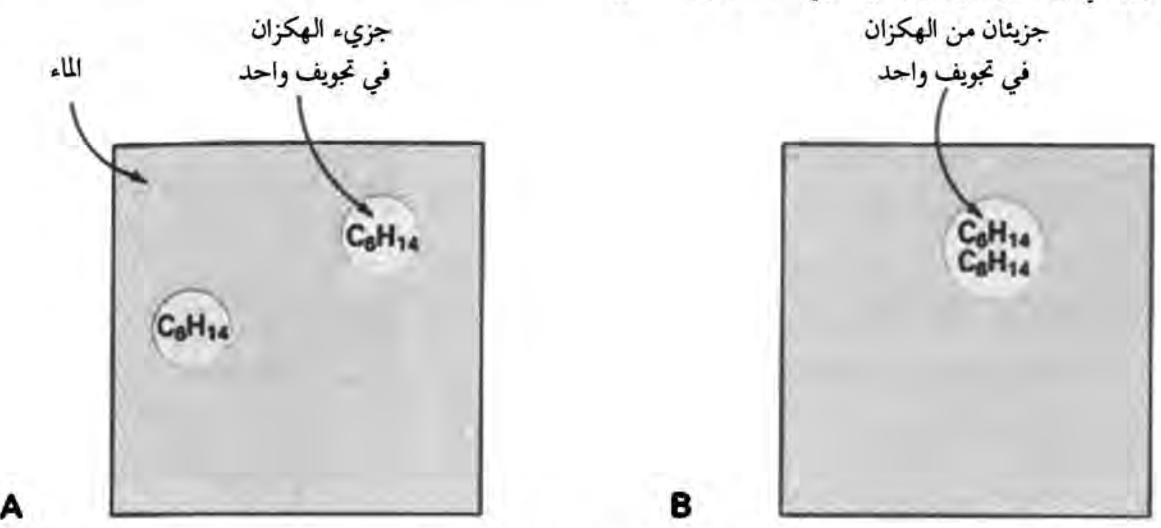
← **II.الرابطة الكهربائية الساكنة**: تتشكل الرابطة أو القوة الكهربائية الساكنة electrostatic، électrostatique بين ذرتين تحملان شحنتين متعاكستين، وتنجم عن التجاذب المتبادل لهاتين الشحنتين، وتنشأ بين الجزيئات البروتينية عندما تتجاذب زمرة الأمين NH_3^+- المتأينة لثمالة الليزين مثلاً في الجزيء الواحد، وزمرة الكربوكسيل المتاينة COO^-- لثمالة حمض الأسبارتيك مثلاً في الجزيء الآخر. وتكون قوة التجاذب F متناسبة تناسباً عكسياً مع مربع المسافة d التي تفصل بين الزمرتين المتآثرتين؛ أي $F = K/d^2$، حيث تمثل k ثابتاً يتعلق بالحالة المدروسة. وهكذا، فكلما ازداد تقارب الشحنتين من بعضهما، ازدادت قوة التجاذب ازدياداً كبيراً. أي إننا إذا قصرنا المسافة بين الزمرتين المتآثرتين إلى النصف، فإن القوة تزداد أربعة أضعاف (2^2)، وهكذا. ويمكن أن تتولد القوة الكهربائية الساكنة نتيجة انتقال الشحنات بين جزيئين بروتينيين متجاذبين (المستضد - الضد مثلاً). ونذكر أن ثمالة أمينية مانحة للإلكترون، كثمالة التربتوفان، تستطيع أن تشكل زمرة هاجرة، تغادر مصطحبة معها إلكتروناً واحداً، وتمنحه إلى زمرة الفينيل، الذي هو جزيء متقبل الإلكترون أو أليفه. فتنشأ شحنة موجبة على الجزيء الذي هاجرت زمرته، في حين تنشأ شحنة سلبية على الجزيء المتقبل، فتتشكل رابطة كهربائية ساكنة بين الجزيئين البروتينين المتآثرين.

III.الرابطة المكارهة للماء: عندما تتبعثر قطيرات الزيت في الماء، فإنها تحاول أن يتقارب بعضها من بعض، لتشكل قطرة كبيرة واحدة. وتحدث ظاهرة مماثلة على المستوى الذري: تنزع الجزيئات أو الزمر اللامستقطبة لتتجمع مع بعضها في الماء. يطلق على هذا الترابط اسم التجاذب المكاره للماء أو الرابطة المكارهة للماء hydrophobic، hydrophobique. وبتعبير آخر، ينزع الماء إلى «عصر» الجزيئات اللامستقطبة بعضها مع بعض (يُرجع إلى الفقرة 5 .4). وتعد القوة المكارهة للماء مسؤولة بصورة أساسية عن انثناء الجزيئات الكبرية (البروتينات على وجه التخصيص)، لتأخذ هيئتها الوظيفية ثلاثية الأبعاد، وعن ترابط الركيزة بالأنزيم، وعن غشاء الخلية الذي يقيم حداً فاصلاً بين وسط الخلية الخارجي ووسطها الداخلي . . . . فإذا ما أدخلنا في الماء جزيئاً واحداً لا مستقطباً من الهكزان (C_6H_{14}) مثلاً، يتشكل مباشرة تجويف في الماء←



إن عكوسية هذه القوى أو الروابط (تكونها وتحطمها بسهولة نسبية) جعلها مسؤولة عن تفاعلات المادة الحية كلها، وعن تشكل بنى الكائنات الحية كافة. فلو تصورنا أنّ التفاعلات بين المركبات البيولوجية تؤدي إلى تكون روابط تكافؤية (ثابتة وقوية)، توقفت أفعال الحياة كلياً، بدءاً من الاستقلاب والنمو وانقسام الخلايا حتى تغير الشكل (أي حدوث الطفرات)، (موضوع سنعرض له عند الحديث عن المستقبلات في القسم الثالث من هذا الكتاب).

←يؤدي إلى تمزق موقت لبعض الروابط الهدرجينية الموجودة بين جزيئات الماء (الشـــكل 6-5). فتعيد عندئذ جزيئات الماء المزاحة تراتبها كي تشكل حداً أقصى من الروابط الهدرجينية الجديدة. ولكن عدد الروابط الهدرجينية المتشكلة حول جزيء الهكزان يكون أقل كثيراً من الروابط الموجودة في الماء النقي البعيد عن التجويف، في حين أن تراتب جزيئات الماء حول جزيء الهكزان يكون أكثر انتظاماً من أي نقطة أخرى. وإذا نحن أدخلنا جزيئاً ثانياً من الهكزان في الماء، فإن هذا الجزيء يلتقي الجزيء الأول، ويتوضع الجزيئان في تجويف أكبر. ويؤدي تلاقي الجزيئين إلى تحرير عدد من جزيئات الماء شديدة الانتظام المشكلة للتجويف من روابطها الهدرجينية. فالرابطة المكارهة للماء تتمثل إذاً بتعزيز تحرر جزيئات الماء. وبكلمة أخرى، فإنّ الجزيئات اللامستقطبة الموجودة في الماء تُقسر، كي يترابط بعضها ببعض ليس لأن الألفة بين هذه الجزيئات مرتفعة فتنفصل عن الطور المائي، بل لأن جزيئات الماء تترابط فيما بينها بوساطة الرابطة الهدرجينية بقوة، فتقسر الجزيئات اللامستقطبة كي يتلاقى بعضها ببعض، منفصلة بسطح بيني عن الطور المائي. ولقد تبين أن الرابطة المكارهة للماء تسهم بما يقارب الخمسين في المئة من مجموع القوى التي تربط جزيئاً بروتينياً بآخر (جزيء المستضد بالضد مثلاً). ←



الشكل 5.6 . تمثيل ترسيمي لجزيئين من الهكزان في حجم صغير من المـاء : A. يحتل الجزيئان فجوتين مختـلفتين ضمـن جزيئات الماء. B. أو يحتلان فجوة واحدة أكبر، تكون ذات طاقة حرة أقـل، ومن ثم ذات أنتروبية أكبر، فتكون أكثر استقراراً من حيث الطـاقة (عن Stryer, 1995، المرجع 30، 11)

← **IV. رابطة «فان درفالس»**: تُعدُّ رابطة أو قوة «فان درفالس» van der Waals «جوهانس فان درفالس» Johannes van der Waals – 1837-1923، فيزيائي هولندي، درس حركية الغازات و التآثرات بين الجزيئات، ونال جائزة نوبل عام 1910)، تعد إذاً رابطة تجاذب ضعيفة نسبياً، وتحدث بين الجزيئات كافة، وتنجم عن تآثر ثنائيات قطب كهربائية متذبذبة حتى في الجزيئات التي لا تمتلك ثنائيات قطب دائمة، (يُرجع إلى الشكل 6-4). ولقد تم تعرف هذه الرابطة نتيجة الدراسات والمعادلات التي وضعها «فان درفالس» والخاصة بتمثيل انحراف الغازات الحقيقية عن قوانين الغازات المثالية بسبب تشكل هذه الرابطة. وهكذا، فإن نشوء رابطة «فان درفالس» بين الجزيئات منوط بتأثير سحب الإلكترونات الخارجية لهذه الجزيئات، مما يسبب انحراف الجملة عن الحالة المثالية. ومع أنه يصعب وصف هذه التآثرات بتعابير غير رياضية، فإنه يمكن ربط آلية تشكلها باضطراب موقت في إلكترونات إحدى الجزيئات، التي تشكل ثنائية القطب، والتي تحرض اضطراب ثنائي القطب في جزيء آخر. وهكذا، فإنّ ثنائيي القطب الاثنين المتآثرين يحققان قوى تجاذب بينهما، ذلك أن الإلكترونات المزاحة تتأرجح عبر مسـافة معينة حـول نقطة التوازن، فيتذبذب ثنائيا القطب، وتترسخ قوة التجـاذب (F) بينهما، فتكون متناسبة تناسباً عكسياً مع المسافة (d) التي تفصل ثنائيي القطب الواحد عن الآخرمرفوعة إلى القوة سبعة. فالقوة إذاً تزداد ازدياداً هائلاً كلما اقترب الجزيء الواحد من الآخر، أي إن $F= K/d^7$، حيث تمثل k ثابتاً منوطاً بطبيعة الجملة. ←

ويمكننا الآن أن نقول إن الحياة لم تنشأ بسبب خصائص جزيء الماء (رباعي السطوح اللانموذجي)، وروابط الكربون التكافؤية المرنة الأربع فحسب، إنما بسبب وجود عامل ثالث يتمثل بالقوى أو بالروابط اللاتكافؤية الأربع: القوة أو الرابطة الهدرجينية؛ والقوة أو الرابطة الكهربائية الساكنة؛ والقوة أو الرابطة المكارهة للماء، وقوة أو رابطة «فان درفالس». إن الانتقاء الطبيعي الدارويني، الذي يعتبره البعض، أساس تغير بنى الكائنات الحية، هو (بمفهوم هذا الكتاب) نتاج تأثير القوى التكافؤية (كجزء من القوى الطبيعية الأربع) والقوى اللاتكافؤية الأربع في وسط بيئي محدد الجزيئات والمعالم، وتأثر هذه القوى فيما بينها من جهة وفي معالم الوسط البيئي من جهة أخرى.

6 .4 .2. زمرة الفسفات

لقد أدت زمرة الفسفات اللاعضوية($OH : PO_3^{2-}$)(4.6) التي سبق أن أشرنا إليها (يُرجع إلى الحاشية 5 .3) دوراً حاسماً في الانتقال من «حياة» السيليكات إلى حياة الكربون. إنَّ هذه الزمرة التي لم يكن بوسع عالم السيليكات احتواءها والإفادة منها (لأسباب ترجع ولو جزئياً على الأقل إلى روابط السيليسيوم الأربع القاسية، وعدم تمكن هذا العنصر من

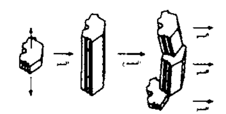
← فإذا ما قصرنا المسافة بين ثنايي القطب إلى النصف، فإنَّ قوة التأثر تزداد بمقدار 256 مرة (الشكل 6.6، يُرجع أيضاً إلى الشكل 6-4). وكما سنعرض في القسم الثالث من هذا الكتاب (التطور البيولوجي) عند الحديث عن التعرف الجزيئي (المستقبلات)، فإنَّ فاعلية الروابط (أو القوى) الأربع آنفة الذكر لا تبدي تأثيرها إلا إذا أصبح الجزيئان المتآثران ضمن مسافة حدية معينة، فتبدأ هذه القوى عندئذ بالتجاذب، وسيزداد هذا التجاذب مع تزايد التقارب. وهكذا، فإذا ما كانت هيئة conformation جزيء بروتيني ما (المستضد مثلاً. والهيئة هي البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الخاصة بالجزيئات، والكبرية منها خاصة. ولكل جزيء كبري أو بروتيني، أو لقسم منه، هيئته التي يتفرد بها. كما أن هذه الهيئة تمنحه وظيفته الخاصة به، يُرجع إلى الفقرة 5 .2)، إذا كانت هذه الهيئة تمتلك إذاً أشكالاً من السحب الإلكترونية متتامة كفاية مع أشكال من السحب الإلكترونية لهيئة مقر ترابط هذا الجزيء بجزيء بروتيني آخر (الضد مثلاً)، فإنَّ قوى التجاذب ستجعل سطوح الهيئتين يتطابق الواحد منها مع متممه كما تتطابق سطوح المفتاح مع سطوح القفل. وما إن يحدث هذا التطابق، حتى تصبح المسافة بين الهيئتين ضئيلة جداً، الأمر الذي سيزيد (حتى من قوى التجاذب اللانوعية) زيادة كبيرة. أضف إلى ذلك أنه كلما كانت مساحات هذه السطوح المتتامة كبيرة، تعاظمت قوى التجاذب تلك.

أمَّا إذا حدث عدم تطابقٍ بين السحب الإلكترونية الموجودة في سطوح هيئتي البروتينين المتآثرين، فإنَّ قوى التنافر الساكنة تقسر هيئتي الجزيئين على الابتعاد عن بعضهما. وتتناسب قوى التنافر هذه تناسباً عكسياً مع المسافة التي تفصل بين السحب الإلكترونية مرفوعة إلى القوة 12 أي أن $F=K/d^{12}$. فإذا ما قصرنا المسافة إلى النصف، فإن قوى التنافر تزداد بمقدار 2 12. وقد تبدو قوى التنافر سلبية الوظيفة ظاهرياً، إلا أنها (وفقاً لمفهوم التتامية لـ «نيلز بور» الذي كنا أشرنا إليه في الفقرة 5 .2) تؤدي دوراً حاسماً في التعرف الجزيئي، ومن ثم بالتعرف الخلوي. فقوى التنافر مسؤولة بصورة أساسية عن تحديد النوعية specificity، spécificité. هذا، وسنعود إلى الحديث عن النوعية في معرض التطرق إلى المستقبلات في القسم الثالث من هذا الكتاب.

الطرد
الطاقة
الجذب
0
مسافة تماس
فان درفالس
المسافة

الشكل 6 .6. تمثيل تأثير قوة (رابطة) فاندر فالس كتابع للمسافة بين ذرتين. لاحظ كيف يتزايد الجذب والطرد (باتجاهين متعاكسين) الاقتراب من نقطة التماس والابتعاد عنها (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 8).

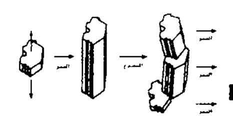
(4 .6) إنَّ زمرة الفسفات تقوم بوظائف بنيوية كما هي الحال مثلاً في شرائط الحموض النووية الريبية RNA(5)، ARN(5)، والحلزون المزدوج للحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين DNA، ADN، مادة الجينات وأساس توريث البنى والصفات، كما تقوم بوظائف كيميائية حيوية أساسية، تتمثل بثلاثة أوجه: 1. اختزان الطاقة كما هي الحال في فسفرة ثالث فسفات النكليوتيدات (ومثالها ثالث فسفات الأدينوزين، يُرجع إلى الحاشية 5 .3). 2. تفعيل الجزيئات بدخولها في بنية هذه الجزيئات، فيصبح حدوث التفاعلات في شروط الخلية الحية أمراً ممكناً. وبالعكس، فإن نزع زمرة الفسفات من الجزيء يخفض معدل سرعة التحولات التي تطرأ على الجزيء (عكس تأثير ربط زمرة الفسفات في←



تشكيل نوى أو مركبات عطرية)، أفادت منها المركبات الكربونية البيولوجية فائدة لم يكن بإمكان الحياة أن تكون بغنى عنها.

وأخيراً، إذا ما وضعنا أمر أهمية القوى أو الروابط اللاتكافؤية في حدوث تفاعلات الحياة الأساسية جانباً، وإذا أردنا أن نضع تسلسلاً يبين أهمية المركبات التي تؤدي دوراً حاسماً في سير حادثات الحياة، فإننا سنكتشف أن عدد هذه المركبات كبير جداً. ونذكر، كمثال مبسط عن ذلك، البكتيرة (الجرثوم) التي تعيش عادة في أمعائنا، وتمثل واحداً من أبسط الكائنات الحية تقريباً (إنَّ للفيروسات بنية أبسط ولكن لها قصة مختلفة). وتعرف هذه البكتيرة بالإشريكية القولونية (من القولون) *Escherichia coli* (انظر الشكلين 4.5ـجـ، و 1.8ـب). لقد تبين أنه يوجد في هذه البكتيرة أكثر من خمسة آلاف بروتين مختلف، ومثلها (ولكن ليس في لحظة واحدة من حياة البكتيرة) من أنواع الحمض النووي الريبي الرسيل (mRNA، ARNm، الجزيء الذي ينقل رسالة الجين لتقرأ على شكل بروتين يشكل بنية محددة أو يقوم بوظيفة معينة، أي يمثل الصفة الظاهرة للكائن الحي أو النمط الظاهري)، وأكثر من مئة حمض نووي ريبي آخر، وعشرات الحموض الأمينية، والسكاكر، والليبيدات . . . ولكن على الرغم من هذا التعقيد، يمكن وضع تسلسل يعكس أهمية المواد التي تمثل هيكل بناء الحياة، ولكن ليس تفصيلات أقسام هذا البناء. ويمكن اجتزاء هذا العدد الكبير من المركبات بثلاث مواد، هي: **الماء ويأتي في المقدمة، ثم مركبات الكربون العطرية (كحلقة البنزين أو الفينول . . .)، ثم زمرة الفسفات**. لقد استطاعت المركبات العطرية للكربون أن تكوِّن الأسس الآزوتية التي اتحد الواحد منها بالريبوز (سكر خماسي الكربون) وبالفسفات، وتم تشكل النكليوتيدات التي بقيت منفصلة، فاختزنت الطاقة (كما عرضنا في الحاشية 4.6)، أو تكوثرت (أي شكلت مكوثرات polymers، polymères، مفردها مكوثر)، بمعنى أنَّ الواحد منها ارتبط بالآخر لتتشكل الحموض النووية، أي المادة الوراثية، متمثلة أولاً بالحمض النووي الريبي (RNA، ARN)، ثم بالحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، AND). كما أنَّ مركبات الكربون السلسلية والعطرية كونت الحموض الأمينية (وعددها عشرون)، التي تكوثرت وشكلت البروتينات (النمط الظاهري phenotype، phénotypetype -أو بنى الكائن الحي التي يمكن رؤيتها- مقابل النمط الجيني genotype، génotype الذي يتمثل بالجينات -المورثات-، وعددها في الإنسان 30 ألف جين تقريباً. إنَّ هذه الجينات -وكما سنرى- هي رموز النمط الظاهري). ولقد تكونت فيما بعد أنواع السكاكر الأخرى، والليبيدات (الشحوم)،

←الجزيء أو تفاعل الفسفرة). 3. تحفيز حدوث التفاعلات الكيميائية الحيوية، أي إن وجود زمرة الفسفات يساعد على حدوث عدد من التفاعلات الحيوية في الدرجة 36.5 مئوية والرقم الهدرجيني 7.2 وبالضغط الجوي العادي (أي 1 جواً)، أي بشروط الوسط الداخلي للجسم، ويكون عملها عندئذ مماثلاً للفعل التحفيزي الذي تقوم به الأنزيمات. ولولا وجود زمرة الفسفات حمضية التفاعل في الحموض النووية لما ترابطت بها البروتينات ذات التفاعل القلوي. إنَّ بنية الريبوزومات ribosomes (الريبوزيمات) وقيامها بوظائفها في قراءة روامز الحمض النووي الريبي الرسيل mRNA، ARNm وترجمة هذه الروامز إلى بروتينات الخلايا والنسج ما كان ليحدث لولا وجود زمرة الفسفات في الحموض الريبوزومية rRNA(5)، ARNr(5) التي تمنح هذه الحموض شحنة سلبية، فترتبط بها البروتينات بشحنها الموجبة. ويحدث الأمر نفسه في ما يتعلق بحلزون DNA، ADN المزدوج الشريطة (وذي التفاعل الحمضي بسبب وجود زمرة الفسفات في بنيته) والهستونات الخمسة (H_1، H_2A، H_2B، H_3، H_4) ذات التفاعل القلوي، التي تسهم في تنظيم عمل الجينات (كما سنعرض لذلك لاحقاً). فالريبوزومات (أو البنى المماثلة) وجدت أولاً (في أثناء سيادة عالم RNA، ARN كما سنرى في الفصل التالي -السابع- من هذا الكتاب). ثم أتى DNA، ADN والهستونات لتترابط وتشكل صبغيات chromosomes الخلايا كبنى تحاكي الريبوزومات. والتنظيم الجيني (بترابط عوامل الانتساخ - التي هي بطبيعة الحال بروتينات - وزمر الميتيل والهستونات، وجزئيات صغيرة، وحتى إيونات) مسؤول في متصلة المكان - الزمن ذات الأبعاد الأربعة عن ثبات خصائص الأنواع الحية كافةً، فتأتي الأبناء عادة مماثلةً للآباء. كما أنَّ زمرة الفسفات تدخل في بنية الغشاء البلزمي (الخلوي) الذي يحيط بالخلية، فيعزل مكانياً ما بداخلها عن الوسط الخارجي المحيط بها. كما تدخل في بنية الأغشية المحددة للأحياز الخلوية، كجهاز غولجي Golgi (نسبة إلى الطبيب الإيطالي «كاميلو غولجي» Camillo Golgi، 1844-1926 الذي نال جائزة نوبل عام 1906)، والشبكة البلزمية الداخلية، ←



والليبيدات الفسفورية، كنتيجة للفاعليات الاستقلابية التركيبية للأنزيمات. وأتى الماء والأيونـات المعدنية من مياه المحيط البدئي. وهكذا يمكن القول إن **استقطاب جزيء الماء، والروابط أو القوى التكافؤية اللينة الأربع للكربون، والخصائص الاستثنائية لزمرة الفسفات، تمثل الدعائم الأساسية التي أقيمت عليها الحياة بتفاعلات، لولا وجود القوى أو الروابط التكافؤية واللاتكافؤية (أساس كل تغير مادي) لاستحال حدوثها. ونعود لنؤكد فكرة محورية أخرى في هذا الكتاب، تتمثل في أنّ الانتقاء الطبيعي الموجه (محرك تطور الكائنات الحية) هو نتاج تأثير القوى التكافؤية واللاتكافؤية (المنبثقة عن القوى الطبيعية الأربع إرادة الله) في جزيئات جملة بيئية محددة تماماً من جهة، وتآثر هذه القوى فيما بينها من جهة أخرى. فخلافاً لمفهوم التنافس الداروينى الذي مايزال (من حيث البرهان العملي غامضاً)، فإن فعل القوى الطبيعية، والقوى التكافؤية واللاتكافؤية، يقدم تفسيراً أنيقاً لهذا التنافس، الذي يحدث في مستوى الذرات والجزيئات، استجابة لفعل هذه القوى. فالذرات والجزيئات الأفضل أداءً وكفاية (وفقاً للتطور الموجه ذي المعنى واللاتصادفي)، تسود على الذرات والجزيئات ذات الأداء والكفاية الأقل (انظر مفهوم ثابت الترابط Ka في الفقرة 1.2.8).**

←والجسيمات الحالة، والغشاء النووي. وتتحد زمرة الفسفات في هذه الأغشية بالشحوم، لتكون الليبيدات الفسفورية التي تمتلك شحنة سلبية (من الفسفات) وشحنة موجبة من زمرة الأمين ($NH3^{+}$-)، مما يمنح الجزيء خاصة التأين الثنائي zwitterion (كالحموض الأمينية). وبالنظر إلى أن جزيء الليبيد الفسفوري يحمل طرفاً مكارهاً للماء (والطرف ثنائي التأين هو بطبيعة الحال أليف الماء)، فهو إذاً جزيء مستقطب (كجزيء الفسفاتيديل كولين أو الليسيتين مثلاً الذي سيشار إليه لاحقاً). إن خاصتي التأين الثنائي والاستقطاب مسؤولان عن الخصائص البنيوية والوظيفية والكيميائية الحيوية لهذه الأغشية التي لولاها لما تشكلت الخلايا، ومن ثم الكائنات الحية.

أمّا في ما يتعلق بالوظائف الكيميائية الحيوية لزمرة الفسفات، فإنّ **الوظيفة الأولى** تتمثل بارتباط هذه الزمرة بالنكليوتيدات (النكليوتيد جزيء مركب نشأ من ارتباط ثلاثة جزيئات بعضها ببعض: أساس عضوي آزوتي، وسكر خماسي الكربون، وزمرة فسفات). ويتم هذا الارتباط (كما كنا عرضنا في الحاشية 3.5) عن طريق تشكل رابطة عالية الطاقة، تُختزن فيها كمية كبيرة من الطاقة. إنّ النكليوتيد الأكثر انتشاراً هو ثالث فسفات الأدينوزين الذي يحتوي على زمرتين من الفسفات ترتبطان برابطة عالية الطاقة بنكليوتيد الأدنين (أو أحادي فسفات الأدينوزين أو حمض الأدينيليك، ثلاثة أسماء لمركب واحد). فعندما تتم حلمهة الرابطة عالية الطاقة (أو فصمها أنزيمياً بوساطة فسفتاز ثالث فسفات الأدينوزين وبتوسط الماء) الموجودة بين زمرتي الفسفات الأولى والثانية وبين زمرتي الفسفات الثانية والثالثة، تتحرر في كل تفاعل حلمهة كمية من الطاقة قدرها 8 000 كيلو كالوري للمول الواحد. وكما كنا ذكرنا في الحاشية 3.5 فإنّ أكسدة جزيء غلوكوز واحد أكسدة تامة (ويحدث ذلك في الكوندريات) إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، تؤدي إلى نتاج صاف قدره 26 جزيئاً من ATP (يتم توليد 30 جزيئاً، ويقتضي إنجاز تفاعلات الأكسدة إنفاق 4 جزيئات من ATP)، يختزن كل واحد منها 16 000 كيلو كالوري / مول. إن هذه الكمية تعادل تقريباً 50 في المئة من كمية الطاقة التي تتحرر نتيجة إحراق جزيء غلوكوز واحد في المختبر إحراقاً كلياً إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. إن هذا المردود الكبير (خمسون في المئة)، يفوق مردود أعلى مولد للطاقة صَممهَ الإنسان حتى الآن، حيث يصعب أن يتجاوز هذا المردود في أحسن الحالات 45 في المئة. وترجع هذه الكفاية العالية للكوندريات (كمحطات لتوليد الطاقة) إلى الأداء المرتفع لسلسلة حاملات الإلكترونات والبروتونات، وذلك بفضل أنزيمات التنفس من جهة، وبفضل نكليوتيدات تحوي هي الأخرى زمر الفسفات، مثل ثنائي نكليوتيد أدنين النيكوتيناميد (NAD) وثنائي نكليوتيد أدنين الفلافين (FAD) من جهة أخرى، وبفضل اقتران تفاعل الأكسدة بتفاعل الفسفرة اقتراناً مباشراً بحيث لا يضيع من طاقة التفاعل إلا الحد الأدنى (يُرجع إلى الحاشية 3.5). هذا، وسنتطرق إلى موضوع الكوندريات في الفصل السابع من هذا الكتاب.

أمّا **الوظيفة الثانية** لزمرة الفسفات، فتتلخص بدورها في تفعيل الجزيئات بحيث تنخفض الطاقة اللازمة لدخول الجزيء في التفاعل (وهذا ما يعرف بطاقة التنشيط energy of activation، énergie d'activation). فمثلاً تقتضي المراحل الأولى لأكسدة الغلوكوز في حلقة حمض الستريك (حلقة كربس المشار إليها في الحاشية 3.5) فسفرة الكربون السادس ثم الأول للغلوكوز، فينشطر هذا الجزيء بسهولة (بأقل قدر من الطاقة) إلى مركبين يحوي كل منهما ثلاث ذرات من الكربون. وهذه هي حال التفاعلات البيولوجية كافة. وتتوسط الفسفرة أنزيمات تعرف إجمالاً بالكينازات (مفردها كيناز kinase، أي الأنزيم الذي « يحرك » التفاعل). وعلى العكس تماماً من عملية الفسفرة، فإنّ نزع زمرة الفسفات من الجزيء يرفع طاقة التنشيط اللازمة لدخول الجزيء في التفاعل (أي يصبح الجزيء خاملاً غير فاعل). وينجز تفاعل نزع الفسفات مجموعة أنزيمات تعرف بالفسفتازات (مفردها فسفتاز phosphatase، أي الأنزيم الذي يحلمه - يفصم - بتوسط الماء الرابطة بين زمرة الفسفات والجزيء). وكما سنعرض في القسم الخاص بالتطور البيولوجي، فإن انقسام الخلية السوي أو السرطاني، وإنجاز مراحل تكون أعضاء الجنين، ←

← يحتاج إلى فاعلية الكينازات (حتى إن تصليح تكسرات حلزون DNA، ADN المزدوج - أو أحد شــريطيته - الناجمة مثلاً عن فعل الأشـعة، يحتاج إلى عملية فسفرة تقوم بها كيناز متوط بجزيء DNA، ADN، ويربط زمرة الفسفات إلى بروتين يفعل بدوره الجين p53 الكابت لتكون الأورام[38] والذي تستثيره تكسرات DNA، ADN، فيعمل البروتين P53 (وبروتينات أخرى مماثلة، كالبروتين P73, وP23) على تصليح الكسـور الصبغية إذا كان هذا التصليح ممكناً، وإلا فإن الخلية المعطوبة تطلب الموت بعملية تعرف بالاستموات apoptosis، apoptose، أو الموت الخلوي المبرمج، أو الانتحار الخلوي الذي أشرنا إليه في الحاشية 3 . 14).

أمَّا الوظيفة الكيميائية الحيوية الثالثة لزمرة الفسفات، فتتمثل بعملها كمحفز catalyst، catalyseur، فتصبح ذات فعل أنزيمي، يساعد على حدوث تفاعلات كيميائية حيوية معينة في شروط الخلية الحية من حيث درجة الحرارة والرقم الهدرجيني والضغط . فلولا وجود زمرة الفسفات في الخلية لكان أمر حدوث تلك التفاعلات مستحيلاً، تماماً كما هي الحال في ما يتعلق بالأنزيمات . ذلك أن حدوث تلك التفاعلات في المختبر يتـطـلب درجـة حـرارة عـاليـة أو ضـغـطـاً مـرتـفـعـاً . ويتمثل الفعل التحفيزي للفسفات بالتفاعل الذي يعرف بتحلل الفسفور phosphorolysis، phosphorolyse . وتحلل الفسفور هو انشطار رابطة ما بوساطة الأورتوفسفات orthophosphate، تماماً كما هي الحال بتفاعل الحلمهة hydrolysis، hydrolyse . فلولا وجود الماء لما قامت الأنزيمات بفعلها التحفيزي، ولولا خاصة زمرة الفسفات التحفيزية لما حدثت تفاعلات التحلل الفسفوري . ويمكن إيضاح الدور التحفيزي للفسفات بتحريك مخزون العضلات والكبد من الغليكوجين (الذي يتشكل بتكاثف جزيئات الغلوكوز بعضها مع بعض على حساب خروج جزيء من الماء عند ارتباط جزيء غلوكوز بجزيء آخر، وذلك كما يحدث عند ارتباط الحموض الأمينية بعضها ببعض لتشكيل السلاسل الببتيدية والبروتينية) . فعندما يهبط تركيز غلوكوز الدم دون مستو معين، يستعين الجسم بمخزون العضلات والكبد من الغليكوجين، ويحوله إلى الغلوكوز لتوليد الطاقة (حالة الجهد العضلي الشديد مثلاً) . ويتم هذا التحويل بتوسط زمرة الفسفات، ويمكن تمثيل ذلك كالتالي:

غليكوجين + Pi ⇆ أحادي فسفات الغلوكوز + الغليكوجين

(ن ثمالة) (فسفات لا عضوية) (ن - 1 ثمالة)

وبالإضافة إلى الفعل التحفيزي للفسفات، يتوسط إنجاز التفاعل المبين أعلاه أنزيم يعرف بالفسفوريلاز phosophorylase، الذي يزيل إزالة مستمرة ثمالة الغليكوزيل من النهاية غير المرجعة لجزيء الغليكوجين (النهاية التي تحوي الزمرة الحرة OH- 4) . أما زمرة الأورتوفسفات، فتفصم الرابطة الغليكوزيدية التي تربط ذرة الكربون C-1 للثمالة النهائية بذرة الكربون C-4 للثمالة المجاورة . وبتعبير أدق، فإن الرابطة الموجودة بين ذرة الكربون C1 وذرة الأكسجين الغليكوزيدي، تُفصم بوساطة الأورتوفسفات، وذلك وفقاً للتفاعل التالي :

الغليكوجين (n ثمالة) —[P، الفسفوريلاز]→ أحادي فسفات الغلوكوز + الغليكوجين (n-1 ثمالة)

ولا يقتصر دور زمرة الفسفات في هذا التفاعل (والتفاعلات المماثلة) على فصم الرابطة بين ذرة C-1 وذرة الأكسجين الغليكوزيدية، بل يتعداه إلى الحيلولة دون عكوسية التفاعل وتكون الغليكوجين من جديد، ذلك أن التفاعل الذي تحفزه الفسفوريلاز قابل بسهولة للعكس . بيد أنَّ وجود الفسفات بتركيز عالٍ (إن نسبة الفسفات اللاعضوية إلى الغلكوز 1- فسفات تفوق المئة)، يقسر التفاعل ليسير بعيداً في تقويض الغليكوجين إلى غلوكوزٍ مفسفر (أي إنَّ الجزيء يكون مستثاراً وطاقة تنشيطه منخفضة، خلافاً لفصم الرابطة بوساطة الماء الذي يؤدي إلى تشكل غلوكوز يحتاج إلى فسفرة على حساب ATP) . إنَّ مقدرة الفسفات على اشتقاق الغلوكوز المفسفر من الغليكوجين تمثل دوراً مهماً إضافياً تؤديه زمرة الفسفات .

أمَّا الدور المهم الآخر الذي تقوم به زمرة الفسفات، فيتمثل في أنَّ ناتج تفاعل تحلل الفسـفور (أي أحادي فسفات الغلوكوز، الذي يتأين في الشـروط الفيزيولوجية) لا يسـتطيع (بسبب شحنته الكهربائية) مغادرة الخلية العضلية، فيبقى تداخلها لتستقلبه، وتشـتق الطاقة منه (عبر حلقة حمض الستريك أو حلقة «كربس») التي تستعمل في التقلص العضلي . وعلى العكس تماماً، فإن حلمهة الغليكوجين (أي حله بوساطة الماء)، تؤدي -كما أسلفنا- إلى تكون الغلوكوز العادي (غير المفسفر ومن ثم غير المشحون بشحنة كهربائية)، الذي يستطيع أن يعبر غشاء الخلية العضلية ويغادرها بسهولة، فلا تتمكن الألياف العضلية من الإفادة منه، في الوقت الذي تكون فيه بحاجة ماسة إلى الطاقة (أي إلى ATP)، وبخاصة في حال الإجهاد العضلي .

38. Woo, R. A. et al., Nature **394** , 700 – 704 (1998).



القسم الثالث

التطور البيولوجي

" Woman has neither the selfishly developed conception of the self nor the intellectuality of man , for all that she is his superior in tenderness and fineness of feeling. On the other hand, woman nature is devotion , submission , and it is unwomanly if it is not so. Strangely enough , no one can so pert , so almost cruelly particular as a woman , and yet all this is really the expression for the fact that her nature is devotion. Devotion , this (to speak as a Greek) divine and riches , is the only thing woman has , therefore nature undertook to be her guardian. Hence, it is too that womanliness first come into existence through metamorphosis, it comes into existence when the infinite pertiness is tranfigured in womanly devotion."

Sören Kierkegaard (1813 - 1855) in "Philosophical Fragments"

« ليس للمرأة [1.7] مفهوم الذات المنبثق من الأنانية، ولا عقلانية الرجل. فهي، لهذا كله، أرفع مقاماً من حيث المحبة ورقة المشاعر. ومن جهة أخرى، فإنّ طبيعة المرأة هي التفاني والإذعان، ولن تكون المرأة امرأة كاملة إن لم تكن كذلك. ومن المستغرب حقاً أنّ ما من أحد يفوق المرأة فطنةً وموهبةً، وتفرداً يكاد يكون قاسياً. وفي الحقيقة، فإنّ ذلك كله تعبير عن طبيعتها في التفاني. إنّ هذا التفاني الإلهي الثر (إذا ما تحدثنا بلغة اليونان الإغريق) هو كل ما تمتلكه المرأة. لذا فلقد التزمت الطبيعة برعايتها. ولهذا أيضاً، فإنّ ذات المرأة نشأ في الوجود أولاً وجاء عبر التحول. لقد أتى إلى الوجود عندما تحولت الفطنة والموهبة المطلقتان لتتجليا في تفاني المرأة » .

«سورين كيركغارد» (1813-1855)، في «كسر فلسفية»

(1.7) إنّ من يقرأ هذا الفيلسوف الدانمركي الشاب (الذي يعد مؤسس الفلسفة الوجودية، وغير الموفق في خطوبته لريجينا، والشغوف بالاستماع إلى «موزارت» في أوبرا «دون جوان»)، إن من يقرؤه بعمق سيكتشف أن المرأة لديه هي الطبيعة (بمعنى الوجود والحياة)، والطبيعة هي المرأة. ومن هنا كتب « ألبير كامو » « أسطورة سيزيف » (يرجع إلى الحاشية 3، 14). كما يمكن البرهان بيولوجياً على أنّ عطاء الأم للطفل يفوق عطاء الأب من حيث التشكل البنيوي والوظيفي، ومن حيث الحماية من عدد من الأمراض الوراثية، وغير ذلك من إرث بيولوجي.



الفصل السابع

نوع نشوء الحياة

1.7 مقدمة عامة

2.7 «حياة» السيليكات

3.7 حياة الكربون

4.7 فرضيات نشوء الحياة

5.7 عالم الحمض النووي الريبي

6.7 عالم الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين

الفصل الثامن

الخلية والإنسان

1.8 الانتقال من بدائيات النوى إلى حقيقيات النوى

2.8 التخصص الخلوي البنيوي والوظيفي

3.8 التنظيم العصبي الهرموني والاستجابة المناعية

4.8 نشوء الخباثة (التسرطن)

الفصل التاسع

بيولوجيا القرن الحادي والعشرين

1.9 مقدمة

2.9 الإرث الجيني البشري (الجينوم البشري)

3.9 الهندسة الجينية

4.9 المعالجة بالجينات واللقاحات الجينية

5.9 المعالجة بالخلايا الجذعية الجنينية وبالخلايا الجذعية

6.9 الاستنساخ وهندسة النسج

7.9 الأحياء المحورة جينياً والعلم «السيئ»، هندسة الأحياء: حلم أم كابوس؟

8.9 إنسان القرن الحادي والعشرين

9.9 سهم الزمن



الفصل السابع

نشوء الحياة

" Karamazov, is it true what religion says, that
we shall rise from the dead, that we shall see one another again ?
Certainly, we shall see one another again.
Certainly, we shall joyfully tell one another everthing that has happened."

Feodor Mikhaïlovitch Dostoïevski (1821 - 1881),
in " The Brothers Karamazov "(1879 - 1880).

« كارامازوف [(2.7)]، هل صحيح أنَّ الدين يقول: إننا سنُبعث من الموت وستلاقى جميعاً من جديد؟ بالتأكيد، سنتلاقى كلنا من جديد. بالتأكيد، سيروي كل واحد منا للآخرين، وبفرح غامر، الأحداث التي مرَّ بها».

«فيودور ميخائيلوفيتش دوستويفسكي» (1821-1881)، في «الإخوة كارامازوف» (1879-1880).

(2.7) يمكن، للوقوف على تفصيل أوسع لهذا الاقتباس، الرجوع إلى بداية الفقرة 2.1. وربما لا يعيب المعرفة العلمية التي يشتمل عليها هذا الكتاب اقتباس بعض الشعر، فالشعر الأصيل يستثير النزوع إلى الخيال والاستمتاع بجمال الحياة. ونرى أن نقتبس هنا من «بدر شاكر السياب» (1926-1964) في قصيدته « أفياء جَيكور » (جيكور هي قرية مسقط رأس الشاعر، وتقع في جنوب « العراق »)، نرى أن نقتبس إذن المقطعين التاليين (على أن نقتبس بقية القصيدة في ما بعد)، ليس لجمال صورها فحسب، إنما أيضاً لعلاقتها في رأينا بسهم الزمن (انظر بداية الفصل التاسع):

«نافورةٌ من ظِلالٍ، من أزاهيرِ
ومنْ عصافيرِ
جَيكورُ، جَيكورُ ياحَقْلاً منْ النورِ
ياجدولاً من فراشاتٍ نطاردُها
في الليلِ، في عالمِ الأحلامِ والقمرِ
ينشرنْ أجنحةً أندى منَ المطرِ
في أول الصيف.
يا بابَ الأساطيرِ

يا بابَ ميلادنا الموصولِ بالرحمِ
من أين جئناكَ، منْ أيِ المقادَيرِ؟
من أيِّما ظُلَمِ؟
وأي أزمنة في الليل سرناها
حتى أتيناكَ أقبلنا منَ العدَمِ؟
أمْ منْ حياةٍ نسيناها؟

جيكورُ مسِّي جبيني فهو ملتهبُ
مسِّيه بالسَّعَفِ

←



1.7 مقدمة عامة

يتلخص المحور الأساسي لهذا الكتاب بالبرهان على وجود تطور موجه ذي معنى اقتضته ضرورة السير (وفقاً لثوابت الطبيعة، وعلى رأسها القوى الأربع) من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر كفاية (أو فعالية) وأداء. وكما عرضنا وأكدنا غير مرة، فإنّ ضرورة هذا التطور الموجه ذي المعنى تناول المادة أولاً، فخُلقتْ من الطاقة. وتطورت هذه المادة، بعكس مبدأ الأنتروبية (أحد أركان المبدأ الثاني من الترموديناميك -التحريك الحراري- الذي يحكم العلاقات الفيزيائية بين الطاقة والمادة)، تطورت لتقيم الحياة، ولتوجه الانتقاء الطبيعي ذي المعنى للكائنات الحية بفعل القوى التكافؤية واللاتكافؤية.

ووفقاً للطراز المعياري أو الانفجار الأعظم (يرجع إلى الفقرة 4.1 1)، فإن المادة خُلقت من الطاقة. وتمثلت هذه الطاقة، التي لم يشهد لها الكون مثيلاً منذ أكثر من ثلاثة عشر مليار عام حتى الآن (وربما إلى عشرات مليارات السنين القادمة) بنقطة هائلة الكثافة والسخونة والصغر (الركام الكمومي). كانت القوى الأربع للطبيعة موحدة في قوة متفردة واحدة وغير وظيفية، تتمثل -في الركام الكمومي- بأوتار وأغشية (وربما فقاعات) ذات أحد عشر بعداً. لم تمثل هذه الأبعاد الأحد عشر متصلة المكان-الزمن، ذلك أنّ الخلق لم يتناول بعد هذه المتصلة. وفي إثر حدوث الانفجار الأول في نقطة الركام الكمومي (التي تألفت من جُسيمات غريبة غير مألوفة، ومن أضداد هذه الجُسيمات التي لم يعرف، وربما لن يعرف لها الكون مثيلاً. وكانت هذه الجُسيمات الغريبة وأضدادها تنشأ بدءاً من طاقة هذا الركام الكمومي، وتتفانى آنياً)، تشكلت فقاعات، تسربت إلى الخلاء فائق التناظر. ولقد أدى ذلك إلى هبوط درجة حرارة الجملة، فولدت قوة الثقالة بأول انتقال طوري، كسر التناظر الفائق، وانفصلت هذه القوة عن القوى الثلاث المتبقية. لقد أمسكت قوة الانتفاخ الهائلة بإحدى الفقاعات الكمومية المتشكلة، فتمددت هذه (بسرعة تفوق سرعة الضوء) مليار مليار مرة. أمّا الفائض الكمومي المتبقي (في إثر انفصال الفقاعات الكمومية)، فعانى انفجاراً هائلاً آخر، أبطأ وأضعف من الانفجار الأول. وأدى انخفاض درجة حرارة الكون الوليد إلى انفصال القوة النووية الشديدة في انتقال طوري ثانٍ، كسر التناظر الفائق مرة أخرى. وفي انخفاض تدريجي لاحق، حدث الانتقال الطوري الثالث، وانكسر التناظر الفائق مرة ثالثة، وانفصل مجموع القوة النووية الضعيفة والكهرطيسية، اللتين انفصلتا الواحدة منهما عن الأخرى في خلال استمرار تبرد الكون.

وفي إثر توقف تفاني الكواركات (أو ما عرف بمذبحة الكواركات)، شكل ما نجا منها (وبالتعاون مع القوى الأربع

←والسنبل الترف

مدّي عليَّ الظلالَ السمرَ، تنسحبُ
ليلاً، فتخفي هجيري في حناياها.

ظلٌّ من النَخلِ، أفياءٌ من الشَجَرِ
أندى من السَحَرِ
في شاطئ، نامَ فيه الليلُ والسُحُبُ
ظلٌّ كأهدابِ طفلٍ هدَّهُ اللعبُ،
نافورةٌ ماؤها ضوءٌ من القَمَرِ
أودُّ لوكان في عينيَّ ينسربُ
حتى أحسَّ ارتعاشَ الحُلمُ يُنبعُ من روحي وينسكبُ

نافورةٌ مِنْ ظلالٍ، مِنْ أزاهيرِ
ومِنْ عصافيرِ ... »



للطبيعة) النترونات، ثم نوى الهدرجين والهليوم. كان عمر الكون الوليد قد أصبح آنذاك ثانية واحدة. وبعد أن تم أسر الإلكترونات من قبل نواتي الهدرجين والهليوم (النترون وجُسيم ألفا)، تشكل غازا الهدرجين والهليوم، حيث نثرتهما قوة الثقالة في الكون الوليد الذي أصبح عمره ثلاثة آلاف عام. ومع أن انتشار هذين الغازين كان متجانساً على المستوى الكِبري، فإنه لم يكن كذلك على المستوى الصِغري، فتشكلت هنا وهناك جزر، كانت كثافة هذين الغازين (وغازات أخرى تكونت فيما بعد) أعلى بجزء من مئة ألف جزء مما هي عليه في المناطق الأخرى.

وشكلت هذه الجزر بدء بداية مجرات كون المستقبل. لقد تشكلت (نستعير هنا هذا التعبير من علم الجنين حيث تتشكل بداآت الأعضاء من الخلايا الأرومية الأولى، وبدهي أن ينطوي هذا التعبير على مفهوم الخلق)، لقد تشكلت إذاً هذه المجرات من غازي الهدرجين والهليوم أولاً، ثم من غازات أخرى نشأت، والتحقت بهذين الغازين. وعرف هذا المجموع الغازي بالركام (أو السديم، أو الغبار) الكوني. وعندما أصبح عمر الكون مليار عام، أصبح حجمه أصغر بقليل من حجمه الحالي، وهبطت درجة حرارته إلى قرابة درجة حرارته الحالية (أي 728 . 2 ± 300 مكروكلفن أو درجة مطلقة).

وعند انقضاء قرابة ثمانية مليارات ونصف المليار عام على خلق الكون (أي منذ 4.6 مليار عام تقريباً)، ولدت الشمس، ومن ثم الكواكب التسعة التي تدور حولها. ويبلغ عمر هذه المجموعة من الكواكب، والأرض بينها بطبيعة الحال، أربعة مليارات ونصف المليار عام تقريباً. لقد وضعت الأرض -بطبيعة كتلتها- ومواصفات تشكلها في مدار يبعد عن الشمس المسافة الأمثل لنشوء الحياة. إنها تبعد وسطياً عن الشمس ثماني دقائق ضوئية (أي 8 × 60 × 000 300 = 000 000 144 كيلومتر تقريباً). وفي إثر انقضاء قرابة ثمانمئة مليون عام على ولادة الأرض، استطاعت ثقالتها أن تأسر في جوها أكثر من سبعين نوعاً من المركبات الكيميائية، وكان عدد منها غازي الطبيعة، ومعظمها يحوي الكربون في بنيته. ولكن يمكن القول إن جو الأرض البدئي كان مختلفاً كثيراً عن جوها الحالي، إذ كان ذلك الجوي خالياً من الأكسجين والآزوت، ويتألف بصورة رئيسة من مزيج غازي، يتكون في معظمه من الهدرجين والهليوم والمتان وأكاسيد الكربون والأمونياك (غاز النشادر)، وبخاصة بخار الماء؛ أي إنه كان جواً مرجِعاً إلى حد ما.

وبتأثير من الأشعة فوق البنفسجية الواردة من الشمس ومن البرق العنيف، وبوجود الأكسجين، تكسرت (بسبب التأين) هذه الجزيئات الغازية (وبخاصة جزيئات الماء والميتان والأمونياك وأول وثاني أكسيد الكربون) التي كانت تهيم في مزيج غازات جو الأرض البدئي، لتكوّن عدداً كبيراً من المركبات الهدروكربونية العطرية و اللاعطرية [3.7]، يفوق عددها سبعين مركباً (ورد قسم منها في الجدول 3 . 1). وكانت بعض الحموض الأمينية والحموض الدسمة (طلائع الليبيدات أو المواد الشحمية) بين تلك المركبات التي تم تشكلها في جو الأرض. وأدى مركبان بعينهما، هما الفورم ألدهيد (ومحلوله في الماء هو الفورمول) وحمض السيانيدريك دوراً حاسماً بين تلك المركبات. فلقد تفاعل هذان المركبان بتأثير الأشعة

(3.7) لقد تم حديثاً [40,39] تعريض الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات المنحلة في الجليد والتي توجد في الركام أو السديم الكوني إلى فعل الأشعة فوق البنفسجية في شروط فيزيائية فلكية مماثلة لما يحدث في الفضاء، فأدّى ذلك إلى أكسدة الذرات المحيطية للكربون، لتشكل كحولات عطرية (كينونات) وكيتونات وإيترات وأول وثاني أكسيد الكربون (CO و CO_2). كما أدّى ذلك إلى إرجاع بعض ذرات الكربون الأخرى، لتعطي مركبات هدروكربونية عطرية مهدرجة، وكسذلك الميتان (CH_4). كما لوحظ أنه يتم بسهولة تبادل ذرات الهدرجين والدوتريوم بين الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات والجليد. ويمكن الاستنتاج من هذين البحثين أن عدداً من المركبات العضوية التي بدأت بها الحياة أتت إلى الأرض الأولية من خارجها (ربما مع الأمطار البدئية، وبالتأكيد مع النيازك والمذنبات)، واستعملت في بناء الأسس ←



فوق البنفسجية، ليعطيا (كما سنرى في ما بعد) أساسين (الأدنين والغوانين) من الأسس الآزوتية العضوية الأربعة التي تشكل الدعامة الحقيقية لمادة الحمض النووي الريبي (RNA، ARN)، وفيما بعد للحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN). وتجدر الإشارة هنا إلى أنّ هذه المواد متباينة التركيب وذات العدد الكبير لم تُصادف على هذا النحو إلا في جو الأرض، ويرجع السبب الأساسي في ذلك إلى المسافة الملائمة والفضلى لبعد هذا الكوكب عن الشمس.

وتشير الاستنتاجات كلها المبنية على معطيات الدراسات النظرية والمسابير الفضائية وأنواع المقاريب (وبخاصة مقراب «هَبْل») ومعطيات أبحاث طويلة ومعمقة، تشير إلى أنّ تبرّد جو الأرض أدّى إلى تكاثف بخار الماء، وتساقط المطر طوال مدة نصف مليار (500 مليون) عام تقريباً. وكان هذا المطر «العضوي» يحوي معظم الجزيئات الموجودة في جو الأرض، وعلى رأسها الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات ومشتقاتها (يرجع إلى الحاشية 3.7)، والأساسان العضويان الآزوتيان (الأدنين والغوانين)، وعدد من الحموض الأمينية البسيطة (وبخاصة الغليسين والآلانين والفالين، وغيرهما من الحموض الأمينية قصيرة السلسلة الكربونية اللاعطرية). ولقد شكل هذا الماء على سطح الأرض-بمركباته الكربونية العضوية- ما أطلق عليه الكيميائي الحيوي السوفييتي «ألكسندر إيفانوفيتش أوبارين» Alexandr Ivanovitch Oparin (1894–1980)، والبيولوجي والرياضي الهندي ذو الأصل البريطاني «جان هالدان» John Haldan (1892–1964) اسم «الحساء البدئي» primordial soup، soupe primordiale. وبالإضافة إلى المحيطات البدئية التي تشكلت من هذا الحساء، فلقد نشأت هنا وهناك سبخات مليئة بالماء العضوي البدئي. وأهم من هذا وذاك، كان الصلصال (الغضار الذي يتألف أساساً من السيليكات) مشبعاً بهذا الحساء البدئي.

2.7. «حياة» السيليكات

كما كنا عرضنا في الفقرات 1.6 و 2.6 و 3.6 فإن السيليسيوم يختلف كيميائياً عن الكربون بقساوة روابطه التكافؤية الأربع، وبإخفاقه -نتيجة لذلك- في تشكيل مركبات ذات نوى عطرية، يدخل في تركيبها الآزوت (يرجع إلى الحاشية 3.7). ولكن على الرغم من ذلك، **استطاعت السيليكات (أو الصلصال) أن تشكل بلورات، بوسعها أن تنمو، وتستقلب (أي تأخذ مواد من الوسط الخارجي وتضيفها إلى مادتها)، وتنقسم (حيث تنقل المعلومات إلى الأجيال التالية) إلى بلورات أصغر، تعود وتنمو، لتنقسم من جديد (أي تتكاثر). كما أن بإمكان هذه البلورات أن تغير شكلها؛ أي تطفر.** وكنا أشرنا في نهاية الفقرة 2.3 إلى الفيلم السينمائي الخيالي «مسوخ وحيدات الحجر» كمثال على «حياة» السيليكات.

فوفقاً لـ«كيرن - سميث» (يرجع إلى نهاية الفقرة 2.6 وإلى المراجع 16 و 34 و 35)، **فإن على أي فرضية تحاول تفسير نشوء الحياة أن تنطوي على جملة بوسعها أن تستقلب وأن تتضاعف.** ويمكن لجملة ما تقوم بهاتين الوظيفتين أن تنشأ، وتعمل بسهولة أكبر إذا ما كانت تستعمل في إنجازها لوظيفتيها «تِقانة خفيضة» basse technicité,low technicity أساسها السيليسيوم، بدلاً من استعمالها «تِقانة رفيعة» high technicity، haute technicité.

←العضوية الآزوتية (التي تدخل في بنية الحمض النووي الريبي RNA، ARN)، ولتركيب الحموض الأمينية (البسيطة منها خاصة)، لبنات بناء البروتينات. وتجدر الإشارة إلى أن الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات تشكل أكثر المركبات العضوية غزارة في الركام أو السديم أو الغبار الكوني وتبلغ نسبتها 20 في المئة من كربون هذا الركام.

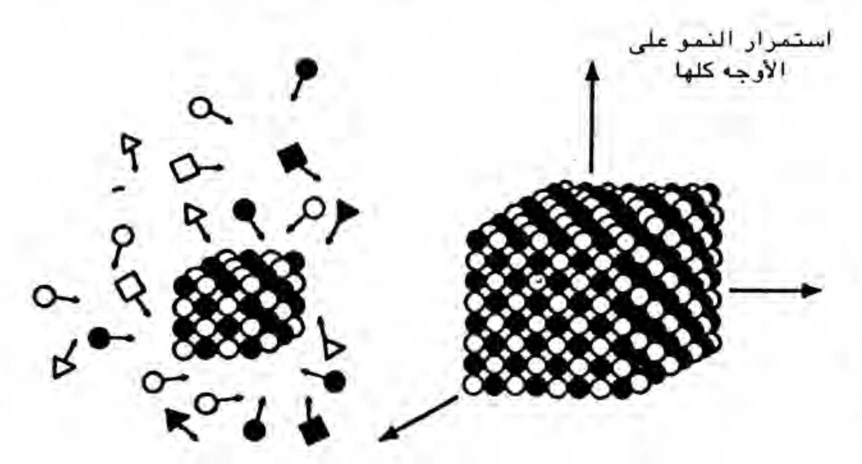
39. Ehrenfreund, P., Science **283**, 1123 – 1124 (1999).
40. Bernstein, M. P. et al., Science **283**, 1135 – 1138 (1999).



فالروابط التكافؤية الأربع القاسية للسيليسيوم، وبساطة مركباته الكيميائية (التي لا تشكل نوى عطرية ولا عموداً فقرياً لجزيئات كبِيرة، كالحموض النووية والبروتينات) منحته خصائص الإفادة من هذه التقانة الخفيضة. ويمكن، بعد أن تُرسخ هذه التقانة الخفيضة نفسها، أن تُبنى على طرازها تقانة رفيعة أساسها الكربون، تتمتع (بالإضافة إلى النمو والاستقلاب والتضاعف والطفر) بالمقدرة على التوريث (أي نقل المعلومات من جيل إلى جيل)، الأمر الذي يمكّن هذه التقانة الرفيعة من السيادة على التقانة الخفيضة، مُحصرةً كلياً تطورها. **فحياة الكربون إذاً بُنيت على طراز 'حياة' السيليسيوم وذلك بعد أن اقتبس (أو بالأحرى صادر) الكربون هذا الطراز، وطوره ليسود، بسبب روابطه التكافؤية الأربع المرنة، وقدرته -بناء على ذلك- على تشكيل نوى عطرية (يدخل في تركيبها الآزوت) وأعمدة فقرية لجزيئات كبِيرة (الحموض النووية، والبروتينات، والليبيدات، والشحوم الفسفورية).**

ويمكن تمثيل هذه التقانة الخفيضة بعملية التبلور المعروفة. ولتبسيط الأمور أكثر، يمكن البدء بحالة تبلور كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) في محلول مشبع من هذه المادة. فإذا ما وضعنا في وعاء شفيف (زجاجي مثلاً بغرض مشاهدة ما يحدث) كمية كبيرة نسبياً من كلوريد الصوديوم، ثم ملأنا الوعاء ماءً، وحركناه لإذابة أكبر كمية من الملح، وعمدنا بعدئذ إلى تسخين المحلول حتى الغليان، فإن الملح يذوب كلياً، متأيناً إلى إيونات الكلور سلبية الشحنة الكهربائية، وإلى إيونات الصوديوم موجبة الشحنة الكهربائية. نترك المحلول يتبرد ببطء دون أن نحرك الوعاء أي حركة مهما كانت بسيطة. وعندما يتبرد المحلول إلى درجة حرارة الغرفة، نسقط فيه بلورة صغيرة من ملح الطعام التي تعمل عندئذ كنواة (أو كجرثومة) [4.7] تستهل عملية التبلور. ذلك أنه سرعان ما تبدأ إيونات الكلور وإيونات الصوديوم بالالتصاق بجسم البلورة الجرثومة، فتنمو هذه تدريجياً لتشكل بلورة طويلة (الشكل 7 . 1)، ما تلبث أن تتصدع إلى بلورات أصغر، تعمل كل واحدة منها كجرثومة تبلور.

وتستمر عملية تنامي البلورات وانقسامها حتى تستنفد كل إيونات الكلور والصوديوم الموجودة في المحلول. وعلى الرغم من أن بعض البلورات لا يأخذ شكل مكعب منتظم، ومع أن لعدد منها بنية غير منتظمة، وتتألف من طبقات متتالية، تحوي الواحدة منها أكثر من إيوني كلور وصوديوم، على الرغم إذاً من أن



الشكل 7 . 1. مخطط ترسيمي لتشكل بلورات كلوريد الصوديوم بدءاً من أيونات الصوديوم وأيونات الكلور (عن Casti,1991 ، المرجع 16 ، ص. 113).

(4.7) سنعمد في هذه الدراسة إلى استعمال كلمة جرثومةgerm، germe لأصل الشيء أو بذرته (من الفرنسية germe، من اللاتينية germen، من germinis أي الشطأ أو الجنين أو البذرة، وجذر الكلمة هو geno من اللاتينية gignere أي يولد، وتعني كلها أصل الشيء أو بذرته. وسنخصص كلمة بكتيرة (وجمعها بكتيريا أو بكتيريات، كتعريب لكلمة *Bacterium*- وجمعها *Bacteria*) للدلالة على العوامل المرضة بدائيات النوى prokaryotes، ونبقي على كلمة جرثومة للعوامل المرضة بدائيات النوى، كتعريب لكلمة germ، germe. وفي قصيدته «فتح ←



بعض البلورات البنات يختلفن شكلاً وبنية عن البلورة الأم، فإن خاصة نمو البلورة وخاصة انقسامها (في إثر وصولها إلى حجم محدد) تكفيان للتدليل على معلمين رئيسين من معالم نظرية «كيرن-سميث».

ولا بد من الإشارة في هذا الصدد إلى الانتظام الكبير في بنية البلورة: تراتب تكراري لشبكات ثنائية البعد، تتوضع في ذروة كل منها ذرة صوديوم أو كلور. إن نظام التوضع هذا يضمن للبلورة التكامل البنيوي، ويتيح لها النمو على حساب ذرات الصوديوم والكلور التي تستمدها من الوسط. وفي كثرة من البلورات، تكون الروابط الذرية بين وريقات (طبقات) البلورة أضعف بكثير من الروابط الموجودة داخل الوريقة الواحدة، والتي تربط في داخلها ذرات الصوديوم بذرات الكلور، الأمر الذي يسمح للوريقات بالانفصال عن جسم البلورة. وهكذا، فإن البلورة تنقسم وفقاً لمستواها الطبيعي، تماماً كما يحدث لبلورة الملح عندما يزداد قَدُّها بمقدار معين، فتنكسر إلى بضع بلورات بنات. **وتدل هاتان الخاصتان: المقدرة على النمو على حساب مواد الوسط، والمقدرة على الانشطار وفقاً لمستوى انقسامي محدد، تدلان على أنَّ البلورة تتمتع بنوع من ‹الاستقلاب› (أي أخذ مواد من الوسط وتحويلها إلى مركبات بناء خاصة بها، تؤدي إلى نموها وانقسامها). ولا يبقى على البلورة كي تصبح «حية» إلا أن تغير شكلها على نحو يمكن توارثه؛ أي تتطور.**

وإذا كنا بسطنا الأمر في ما سبق، فلأننا توخينا التقريب بين «حياة» البلورات وخصائص الجملة التي تتمتع بالحياة فعلاً، وتمتلك أفعال النمو والتكاثر وتغيير الصفات على نحو يمكن توارثه (أي تمتلك إمكان الطفور). فالبلورات ليست كلها بسيطة كما يبينها الشكل 7.1؛ أي تتألف من شبكات من الذرات المنتظمة التراتب. فالأثلام والأخاديد والعيوب الميكانيكية شائعة في بنى البلورات، ويمكنها الانتقال في البلورة الواحدة من طبقة إلى أخرى تليها وذلك في أثناء تشكل البلورة. كما يمكن لبعض العيوب الميكانيكية أن ينعكس على سرعة نمو الوجوه المختلفة للبلورة، الأمر الذي يتسبب بظهور « مجالات » نمو محددة. ومع أن لبعض هذه المجالات تراصفاً مغايراً قليلاً لاتجاهات النمو العام للبلورة، فإنها تستمر في النمو محتفظة بهذا التغاير. فإذا ما افترضنا وجود بلورتين متماثلتين تماماً (توأمان حقيقيان)، تتوضعان في أخدود صخري، وأن إحداهما عانت تغيراً (طفرة) من التغيرات التي أتينا على ذكرها، وأن هذا التغير (الطفرة) منحها صفتين اثنتين: **أن تنمو بسرعة تفوق سرعة نمو البلورة التوأم الأخرى، وأن تتثبت على السطح الصخري بقوة تفوق تثبت مثيلتها، بناءً على هذا الافتراض، فإن مياه الأمطار المنسابة في الأخدود ستُبقي على الأولى (بسبب الانتقاء الطبيعي)، فتتكاثر بسرعة وتسود، بينما ستجرف الثانية، لتضمحل وتتلاشى.**

ومع أن هذا التغير المتمثل بالعيب الميكانيكي للبلورة يمكن أن ينتقل من جيل إلى آخر (أي بوسعه أن يصبح أداة تطورية توجهها أنماط ثانوية اشتقت من القوى الطبيعية الأربع؛ ونعني بذلك القوى أو الروابط التكافؤية واللاتكافؤية التي تسبب تشكل البلورة)، فإن العيوب الميكانيكية ليست الأداة الوحيدة لتطور البلورة. فالطبقات ثنائية البعد للبلورة تكون عادة منضدة على شكل وريقات وأشرطة، تعطي الصلصال المعدني بنيته اللينة الرخصة. وإذا ما اعتبرنا البنية الوريقية للبلورة، فإن هذه الوريقات (وكما كنا عرضنا لها منذ قليل) يرتبط بعضها ببعض بقوى أو بروابط ضعيفة، كالرابطة الهدرجينية التي تنشأ في ماء التبلور إذا ما كانت البلورة حيادية كهربائياً، أو كالرابطة الموجبة، مثل الروابط التي تنشأ بين إيونات البوتاسيوم (K^+) والصوديوم (Na^+) والكلسيوم (Ca^{2+}) مثلاً وجزيئات الماء المتوضعة في الفضوات بين

←«عمورية»، يقول «أبو تمام» (يُرجع إلى الفقرة 3، 4، 2، 2، 1) مادحاً «المعتصم»:

«خليفةُ اللهِ جازى اللهُ سَعيكَ عن جُرثومَةِ الدينِ والإسلامِ والحَسَبِ»



الوريقات إذا ما كانت هذه الوريقات تحمل شحنة سلبية. وتكون الوريقات مؤلفة من طبقات ثلاثية البعد، تأخذ شكل شبكات رباعية أو ثمانية السطوح، حيث تتوضع في الذرا ذرات من الهدرجين أو الهدركسيل. فوريقات بلورة الكاولينيت kaolinite (مركب غضاري أساسه الكاولين kaoline أو الصلصال الصيني، أو الصلصال الأبيض النقي الذي يستعمل في صناعة البورسلين، يُرجع إلى الشكل 6 . 1)، تكون منضدة على شكل شبكة من رباعيات السطوح، تحتل مركز كل واحد منها ذرة سيليسيوم، وشبكة أخرى من ثمانيات السطوح، تحتل مركز كل واحد منها ذرة ألمنيوم.
إن وريقة بلورة الكاولينيت حيادية كهربائياً. أمَّا صلصال الإليت illite، فيتألف من وريقات متناظرة: توجد في المركز شبكة ثمانية السطوح من الألمنيوم، تحيط بها شبكتان رباعيتا السطوح سيليسيتان. ويمكن لإيونات الألمنيوم (Al^{3+}) أن تأخذ مكان إيونات السيليسيوم (Si^{4+})، كما يمكن لأيونات المغنزيوم (Mg^{2+})، ولأيونات الحديد (Fe^{3+}) أن تحل محل إيونات الألمنيوم.

ففي وضع من هذا النمط، تفقد الوريقة حيادها (توازنها) الكهربائي فتصبح سلبية الشحنة، الأمر الذي يؤدي إلى اندفاع إيونات البوتاسيوم (الموجودة في الوسط) موجبة الشحنة كي تتوضع في الفضوات بين الوريقات. ففي هذا النوع من الصلصال يمكن إذاً لإيون موجب أن يأخذ مكان إيون آخر، دون أن تتأثر مقدرة بلورة الصلصال على النمو. ويمكن أيضاً لهذه البنية المبسطة للصلصال، والتي عانت هذا التغير أن تصبح «موروثة»، فتنتقل -كما هي- إلى طبقات جديدة متنامية، تضاف طبقة طبقة إلى الوريقة الأم. كما يمكن لهذا الإرث أن يتمثل بتوالد مباشر للطبقات المتراتبة على نحو تكون فيه كل طبقة جديدة مضافة « متممة » للطبقة الأقدم، التي تعمل كنقطة استنادٍ وتنامٍ متمم.

ومن البدهي أن تغدو سيرورة التشافع المتمم هذه غير بعيدة عن سيرورة التضاعف والانتساخ الخاصتين بالحموض النووية للكائنات الحية. وهكذا يظهر، ولأول مرة في تاريخ التطور، ما يمكن أن نطلق عليه اسم « الجينات البلورية » التي تتمتع (عن طريق آلية ميكانيكية وكيميائية) بالمقدرة على تكوين الأشكال البلورية للأجيال القادمة من جهة، وعلى اختزان المعلومات الضرورية لهذا التكوين. فالشكل والذاكرة على إعادة تكوين هذا الشكل في كل جيل قادم، وكذلك إمكان تغيير هذا الشكل (أي النمو كنتيجة للاستقلاب، والتوالد كنتيجة للنمو، وتغيير الشكل كنتيجة للطفر) أصبحت كلها خصائص موروثة في عالم بلورات السيليكات (الصلصال).

وبدهي أيضاً أن هذه الخصائص هي نفسها التي ميزت الجمل الحية في الماضي (عالم RNA، ARN)، وتميزها حالياً (عالم DNA، ADN). وأخيراً، وبمعرض الحديث عن الصلصال، تجدر الإشارة إلى أن الديانات السماوية كلها قد أشارت تلميحاً أو تصريحاً إلى أن الحياة (الإنسان) خُلقت من الصلصال.

7 . 3. حياة الكربون

على الرغم من أن لكل من السيليسيوم والكربون أربع قوى أو روابط تكافؤية، فإن هذه الروابط تكون لينة في الكربون وقاسية في السيليسيوم (يرجع إلى الفصل السابق). إن ليونة هذه الروابط مسؤولة كلياً عن تكون المركبات العضوية أولاً (بما في ذلك النوى العطرية، يرجع إلى الحاشية 7 . 3)، ومن ثم الجزيئات البيولوجية. إنَّ هذه النوى العطرية ومشتقاتها أدَّت دوراً حاسماً في بناء أشرطة الحمض النووي الريبي RNA، ARN في بداية الأمر، ثم في ما بعد الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN) ذي الحلزون المزدوج، وفي بناء السلاسل البروتينية،



وسلاسل الحموض الدسمة والليبيدات (الشحوم) الفسفورية. ولقد نجم أيضاً عن ليونة القوى التكافؤية الأربع للكربون (التي تفرعت هي وكل الروابط التكافؤية واللاتكافؤية للعناصر والمركبات كافة عن القوى الأربع للطبيعة)، تكوّن أكثر من سبعين مركباً هيدروكربونياً في الوسط بين الكواكب والنجوم والمجرات، في حين لم يُكشف حتى الآن عن أي مركب سيليسي سلسلي داخل مجرتنا أو خارجها. والمركبان السيليسيان اللذان تم التأكد من وجودهما في الفضاء هما أكسيد السيليسيوم (SiO)، وسلفيد السيليسيوم (SiS) (يُرجع إلى الجدول 3 . 1).

إن الأمر المهم الآخر هو تكون غاز الميتان (CH_4) بدءاً من الهدرجين الغزير (قرابة 75 في المئة) الموجود في جو النجوم والمجرات، ومن الكربون الذي تكوَّن نتيجة اندماج ثلاثة جُسيمات ألفا أو نوى الهليوم، أو بسبب الإرجاع المتطرف لأكسيد الكربون (CO)، أو لغاز الكربون (CO_2). ويمكن بأكسدة الميتان الحصول على الفورم ألدهيد (H.C.HO)، ومحلوله المائي الفورمول. إن هذا المركب شديد الفاعلية، ويمكن أن يتفاعل (بتأثير الأشعة فوق البنفسجية) مع حمض السيانيدريك *(HCN)، ليشكل نوى البورين Purine، وبخاصة الأدنين والغوانين، اللذين يدخلان كأساسين عضويين آزوتيين في بنية* نكليوتيدات *الحموض النووية (يرجع إلى الفقرة 7 . 1)*، المحور *الأساسي للحياة*.

ولقد أدى الكربون دورين مهمين آخرين، أولهما في تكوينه المركبات الصباغية التي تمتلك إلكترونات شديدة الحركة، قادرة على امتصاص فوتونات الضوء (الطاقة) بسهولة كبيرة، الأمر الذي يساعدها على إنجاز أفعال التركيب العضوي. وهكذا ظهرت في بداية الأمر وحيدات الخلية التي احتوت (بنوعيها النباتي والحيواني) على أصبغة قادرة على امتصاص كفوء للأشعة الشمسية، واستعمال فوتونات هذه الأشعة كطاقة يتطلبها إنجاز تفاعلات الاستقلاب المؤدية إلى التوالد (الانقسام؛ أي انتقال المعلومات من جيل إلى آخر) الذي ينبثق عن النمو، وإلى دعم وراثة تغير الشكل (حدوث الطفرات وتوريثها). ولقد خطا التطور الموجه ذو المعنى خطوة مهمة أخرى في ظهور الكلوروفيل (اليخضور) في الشق النباتي من العالم الحي، وظهور صباغ الهيموسيانين في الحيوانات اللافقارية، والهيموغلوبين في الحيوانات الفقارية. ولقد كان دور هذه الأصبغة حاسماً في عمليات استقلاب هذه الكائنات، واشتقاق الطاقة الضرورية لاستمرار الحياة وصيانتها.

أما الدور المهم الثاني الآخر الذي نيط بالكربون، فتمثل بارتباط مركباته بزمرة الفسفات. وعلى الرغم من عدم وجود مركبات فسفورية في الفضاء، فإن «الحساء البدئي» كان يحتوي على الفسفات التي أذابتها مياه الأمطار، مستخلصة إياها من الصخور. وبالإضافة إلى الدور الحاسم الذي أدّته زمرة الفسفات في بنية الحموض النووية (أو المادة الوراثية)، والليبيدات (الشحوم) الفسفورية (التي تشكل أساس الأغشية الخلوية)، فإنّ زمرة الفسفات ارتبطت بمركبات كربونية عطرية (عمادها الأساسان الآزوتيان العضويان الأدنين والغوانين على وجه التخصيص الذي ارتبط كل منهما بسكر خماسي، ليشكل النكليوتيدات، لبنات بناء الحمضين النوويين ARN . RNA و ADN.DNA ، بالإضافة إلى النكليوتيدات الثلاثة الأخرى، وهي نكليوتيدات التيمين، والسيتوزين، واليوراسيل، التي سنفصلها لاحقاً). إن زمرة الفسفات شكلت مع هذه النكليوتيدات روابط غنية بالطاقة تستعملها الكائنات الحية كافةً لإنجاز أفعال الاستقلاب والحركة والحس والإدراك . . . . كما أنّ زمرة الفسفات تؤدي أيضاً أفعالاً تحفيزية، فهي تشبه بذلك الأنزيمات. بالإضافة إلى ذلك فإن ارتباط زمرة الفسفات بالجزيئات العضوية (والبروتينية منها خاصة)، يؤدي إلى تفعيلها (يُرجع إلى الحاشية 5 . 3، وبخاصة الحاشية 6 . 4).



ولكن ما علاقة هذا كله (بحياة) السيليكات وبلورات الصلصال، والآليات التي ابتكرتها هذه البلورات لتستقلب، وتنمو وتتوالد وتطفر، مختزنة ميكانيكياً وكيميائياً المعلومات الضرورية لتكوين أجيال قادمة؟وهل كان بوسع «حياة» السيليكات أن تعطي حياة الكربون؟ كيف أمكن للحموض النووية والبروتينات جزيئات حياة الكربون أن ترتبط بسيرورات «حياة» السيليكات؟

يمكن الاستنتاج من دراسات «كيرن-سميث» (يرجع إلى المراجع 16 و 34 و 35) بأن البلورات «الحية» للسيليكات، وبغية تيسير سيرورات بُقياها (بقاؤها على قيد الحياة) وتكاثرها، شرعت بصنع مركبات أساسها الكربون (مركبات عضوية). وقد يرجع سبب ذلك (ولوجزئياً) إلى سهولة التعامل مع هذه المركبات (على الرغم من تعقيد تراكيبها الكيميائية)، وذلك بعد أن أتقنت بلورات السيليكات آليات النمو (نتيجة الاستقلاب، أي أخذ المواد من الوسط وإضافتها إلى مادتها)، والتوالد (نتيجة وصول حجم البلورة المتنامية إلى قَدٍّ أعظمي)، وتغيير الشكل (أي الطفر نتيجة عيوب ميكانيكية وتغيرات كيميائية)، وبعد أن ترسخت فيها (ميكانيكياً وكيميائياً) «المعلومات» الضرورية لولادة الأجيال القادمة. وربما يرجع جزء آخر من السبب إلى كثرة المركبات الكربونية وتنوعها في الحساء البدئي الذي تشربه الصلصال. **ويرى (كيرن-سميث) أن تضمين المركبات الكربونية في الصلصال قد منح بلوراته (بلورات السيليكات) أفضلية إضافية، تمثلت في تشكيل نقاط استناد ميكانيكية، ترتكز عليها هذه البلورات، وفي استبعاد الإيونات غير المرغوب بها، ربما عن طريق التخلص من حقول إيونية كهربائية شداتها أكبر مما ينبغي، وفي التحكم ببنية البلورات وقدِّها، وفي أسرها الانتقائي للإيونات اللاعضوية، وما إلى هنالك من خصائص تفوّقٍ، تنتهي أخيراً بالسيادة. وبدهي أن يحمل اكتساب هذه الخصائص السائدة (إذا ما استعملنا لغة الانتقاء الطبيعي الموجه) سيرورة تنحي «حياة» الصلصال لحساب حياة الكربون. ولكن كيف حدث هذا الاستبدال لحياة الكربون بـ «حياة» الصلصال في الوقت الذي كانت فيه المركبات الكربونية تدخل كعناصر ثانوية وإضافية في بنية بلورات الصلصال؟**

لقد تم هذا الاستبدال (ودائماً وفقاً لـ «كيرن-سميث») حالما أصبحت أشكال بلورية عضوية (تشكلت داخل بلورات السيليكات) قادرة على التوالد بسرعة، تفوق سرعة توالد بلورة الصلصال الأم. وما إن حققت البلورات العضوية هذه الخاصة الانتقائية السائدة، حتى أصبحت أيام تطور بلورات السيليكات معدودة. وعندما تمكنت هذه البلورات العضوية من بناء الشريطة الأولى من الحمض النووي الريبي (RNA، ARN) القادرة بطبيعة بنيتها على التضاعف الذاتي التتامي، وعلى التحفيز (كما سنفصل ذلك في الفقرة التالية)، حتى غدا بإمكانها تكوين مادة وراثية أكثر مرونة، وأفضل أداء من سالفاتها ذات التقانة الخفيضة.

ولقد حرص الانتقاء الطبيعي (نعني بتعبير **الانتقاء الطبيعي الموجه، وحيثما ورد أو سيرد هذا التعبير، سيرورة مفروضة من قبل القوى أو الروابط التكافؤية واللاتكافؤية المشتقة من القوى الطبيعية الأربع - يُرجع إلى الفصل الثاني- والتي نقول عنها وعن قوانين الطبيعة إنها «إرادة الله»**، لقد حرص الانتقاء الطبيعي إذاً على سيادة هذه التقانة الرفيعة الأكثر كفايةً (أو فعاليةً) والأشد تعقيداً، وعلى وضع جينات الحمض النووي الريبي (RNA، ARN) في مقدمة الأحداث، والحكم أخيراً على تطور «حياة» بلورات الصلصال بالتراجع والتلاشي.



7.4. فرضيتا نشوء الحياة

من البدهي (عندما يُبحث في موضوع نشوء الحياة) أن يتجه التفكير إلى أنواع الجزيئات البيولوجية الكبرية الأساسية الثلاثة، وهي: الحمض النووي الريبي (RNA، ARN)، والبروتينات، والحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN)، وليس إلى أي مادة أخرى من مئات المواد التي تحويها الخلية، ذلك أن هذه المواد تتألف من جزيئات صغرية (الماء والإيونات المعدنية واللامعدنية والحموض الدسمة والليبيدات - الشحوم- الفسفورية والسكاكر والنكليوتيدات . . .)، التي لا تمتلك المقدرة على اختزان المعلومات الضرورية لتكوين أجيال لاحقة. ومن جهة أخرى، فإن المركبات العضوية تنشأ نتيجة فاعلية البروتينات الأنزيمية وفقاً لمسارات استقلابية أصبحت معروفة تفصيلاً، وتشكل ركناً أساسياً من أركان الكيمياء الحيوية. ولكن مما لا لبس فيه هو أن بعض هذه المواد العضوية الصغرية دخلت أصلاً في بنية الجزيئات البيولوجية الكبرية الأساسية الثلاثة المشار إليها أعلاه (أي RNA، ARN، والبروتينات، و DNA، ADN).

وكما كنا ذكرنا في مقدمة هذا الفصل (يرجع إلى الفقرة 7.1)، فإن الحساء البدئي لكل من «أوبارين» و «هالدان» احتوى على طلائع السكاكر والليبيدات (والشحوم) وبعض الحموض الأمينية البسيطة وأساسين عضويين آزوتيين (الأدنين والغوانين)، إن لم يكن قد اشتمل على هذه المواد نفسها وليس فقط طلائعها. **أما لماذا على التفكير بأصل الحياة أن يتجه نحو الحمض النووي الريبي (RNA، ARN)، والبروتينات، والحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN)، فذلك لأن هذه الجزيئات قادرة على التوالد (الاستقلاب والنمو) من جهة، ولأنها من جهة ثانية تمتلك المقدرة (على الأقل في ما يتعلق بالحمضين النوويين RNA، ARN و DNA، ADN) على اختزان المعلومات (الذاكرة الجينية) التي تمكنها من توليد أجيال قادمة.**

كما يمكن، في هذا السياق، الإشارة إلى أنَّ ضخامة هذه الجزيئات الكبرية، التي نجمت عن تكوثر وحدات بناء أساسية، هي النكليوتيدات في ما يتعلق بـ RNA، ARN و DNA، ADN (التي نشأ كل نكليوتيد منها من اتحاد ثلاثة جزيئات: أساس آزوتي عضوي من أصل أربعة أسس، وجزيء سكر خماسي الكربون، وزمرة الفسفات)، وهي الحموض الأمينية في ما يتعلق بالبروتينات، إن هذه البنية للجزيئات الكبرية منحت الجزيء هيئة فراغية ثلاثية الأبعاد محددة تماماً، فأصبحت هذه الجزيئات قادرة على استعمال سطوح هذه الهيئة لإنجاز التفاعلات الكيميائية الحيوية المنوطة بها، وذلك نتيجة تشكل القوى أو الروابط اللاتكافؤية. وهنالك ميزة ثانية لهذه الجزيئات الكبرية، تمثلت بالإضافة إلى أن ضخامة الجزيء (أي هيئته) مكنته من إنجاز عملية التضاعف الذاتي autoreplication، autoréplication التامي، واختزان المعلومات الضرورية لتوليد اجيال قادمة، تمثلت هذه الميزة إذاً بناحية اقتصادية مهمة: إن تنسخ (أو تكرر) replication، réplication هذه الجزيئات تنسخاً تامياً هو أقل كلفة من حيث الطاقة مما لوكانت أداة هذا التنسخ التامي نكليوتيدات وحموض أمينية، كل جزئ منها غير متكوثر مع جزيء آخر.

ووفقاً لـ «كيرن-سميث»، فإنَّ نشوء الحياة يتطلب تحقيق سبعة أسس، تنطوي على خاصتي اللزوم والكفاية. ويمكن تلخيص هذه الأسس على النحو التالي:

أولاً. الأساس البيولوجي: على المعلومات الجينية أن تغير شكل الكائن وليس مادته، ولا يمكن للتطور أن يبدأ مالم يتوفر وجود هذا الشكل القادر على التنسخ.



ثانياً. الأساس الكيميائي الحيوي: إن الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN)، والحمض النووي الريبي (RNA، ARN) هما جزيئان معقدان يصعب تركيبهما (لأنهما يحتاجان إلى تِقنية رفيعة)، الأمر الذي يوحي بأنَّ ظهورهما في أثناء تطور الجزيئات أتى متأخراً.

ثالثاً. المظاهر الابتنائية: يمكن، في أثناء التطور، استبعاد مواد أو إضافتها. إن بوسع هذا الاستبعاد وهذه الإضافة أن يؤديا إلى التبعية المتبادلة كما يلاحظ ذلك بوضوح في السبل الكيميائية الرئيسة للحياة.

رابعاً. البنية الحزمية: كما هي الحال في الحبل أو الضفيرة، فالألياف الجينية يمكن أن تضاف، أو أن تستبعد دون أن يسبب ذلك انقطاع الاستمرارية العامة للجديلة الجينية. وهذا ما يفسر كيف يمكن لكائن حي مرتبط بجَميعة pool جينية محددة أن يتطور تدريجياً، ليعطي أخيراً كائناً حياً آخر مرتبطاً بجَميعة جينية مختلفة كلياً عن جَميعة السلف.

خامساً. تاريخ التِقانة: تكون الآلية البدائية (التِقانة الخفيضة) عادة مختلفة من حيث التصميم والبناء عن الآلية المكافئة (التِقانة الرفيعة) والتي ستعقبها في الزمن، بحيث تكون الثانية أكثر تعقيداً، وأفضل أداءً من الآلية الأولى. وعلى الماكنة البدئية أن تكون سهلة البناء، بدءاً من مواد متاحة إتاحة مباشرة في الوسط، وأن تعمل بحد أدنى من العوائق. أمّا في ما يتعلق بالماكنة الأعلى، فلا تحتاج لأن تكون سهلة البناء، كما أنها لا تتألف بالضرورة من عناصر بسيطة. بناء على ذلك، فربما كانت الكائنات الحية الأولى (ذات التِقانة الخفيضة) مختلفة كلياً عن الكـائنات الحية الحاليـة (ذات التِقانة الرفيـعة).

سادساً. الأساس الكيميائي: تتشكل البلورات على نحو تتوافق فيه مع مادة جينية ذات تِقانة خفيضة، الأمر الذي يقترح إجراء أبحاث لتحري وجود مواد كيميائية حيوية بدائية.

سابعاً. الأساس الجيولوجي: تصنع السيرورات الطبيعية على نحو مستمر كميات كبيرة من الصلصال. إنَّ هذا النمط من البلورات اللاعضوية يبدو أكثر ملاءمة من الجزيئات العضوية الضخمة لتشكيل جينات بدئية، وبنى أخرى بدائية تتولى آليات الضبط (كالتحفيز والبنى الغشائية ذات التِقانة الخفيضة).

وإذا ما سلكنا تاريخياً سبل العلوم والتقانات المختلفة، فإنَّ هذه الأسس (أو المفاتيح) السبعة تقدم حججاً مغرية لاعتبار بلورات الصلصال المادة الأولى للكائنات الحية. ويبدو من المهم دراسة الطراز الذي يقترحه «كيرن-سميث» والذي يتمثل جوهرياً بأمرين اثنين: بناء طراز ذي تقانة خفيضة قادر على النمو (نتيجة الاستقلاب)، أي أخذ مواد من الوسط وجبلها في مادته، والانقسام (نتيجة الوصول نمائياً إلى حجم معين)، وتغيير الشكل ميكانيكياً وكيميائياً تغييراً موروثاً (حدوث الطفرات)، والمقدرة على اختزان معلومات تمكن الطراز من تكوين الأجيال القادمة عن طريق نمط توزع الشُحن الكَهربائية للأيونات على سطح البلورة. أما الأمر الثاني، فيتمثل بتطور هذا الطراز من داخله؛ بالاستعاضة تدريجياً عن المواد اللاعضوية، ووضع مواد عضوية محلها، إنما على مثال الطراز الأول، وبخصائصه ذاتها. لقد أتى الطراز « المستنسخ » أكثر تعقيداً وأفضل أداءً، ويتصف بتقانة رفيعة ذات شمولية أوسع، فساد هذا الطراز الجيد، بالانتقاء الطبيعي (بسبب كفايته)، على الطراز الأم الأول، الذي لم يقوَ على التكاثر والتطور بالسرعة التي تميز بها الطراز الإبن.

وكما ذكرنا غير مرة، فإنه لم يكن للمصادفة أي دور في هذا الانتقال من عالم بلورات الصلصال إلى عالم الأحياء. إنَّ الضرورة المتمثلة بتطور موجه ذي معنى، أساسه القوى الطبيعية الأربع، التي منحت ذرة الكربون أربع قوى أو أربعة روابط مرنة لينة، جعلت عالم الكربون (وليس عنصراً آخر غيره) يسود على عالم السيليسيوم.



بعد أن عرضنا للأسس التي بنيت عليها الحياة وفقاً لحجج منطقية أقرب إلى الواقع من أي حجج جدلية أخرى، يمكننا أن نستعرض المعلومات المتوافرة عن الفرضيات التي طرحت حتى الآن عن نشوء الحياة. ولكن علينا قبل ذلك أن نذكّر بعدد من الحقائق الراسخة التي كنا أشرنا إليها في الفقرات السابقة من هذا الفصل، وألمحنا إليها في بعض الفصول التي سبقت.

تشير البحوث التي نشرت حديثاً[41] إلى أنه يمكن الكشف في صخور رسوبية توجد في قاع بحر «غرينلاد الغربي» (القسم المجاور لـ «الدانمارك») عن إحفوريات (مستحاثات) لكائنات حية (أنواع من البكتيريا)، كانت تعيش على الأقل قبل 700 3 مليون (أو ثلاثة مليارات وسبعمئة ألف عام). فإذا كان عمر الأرض قد بلغ الآن قرابة أربعة مليارات ونصف مليار عام (4.6 مليار عام)، فإنه يمكن الافتراض بأن تبرد سطحها استغرق قرابة أربعمئة مليون عام، وظلت الأمطار تهطل على سطحها طوال هذه المدة، لتشكل السبخات الهائلة (محيطات وبحار اليوم) المليئة بالحساء البدئي.

وكان هذا الحساء، يشتمل على أكثر من سبعين مركباً من الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات (التي تشكل 20 في المئة من كتلة الكربون الكلية في الركام أو السديم الكوني)، وعلى حمض السيانيدريك، والفورم ألدهيد، وأساسي البورين (الأدنين والغوانين على وجه التخصيص)، وعدد من الحموض الأمينية، والكحولات العطرية (الكينونات)، والإيترات، وعدد من الحموض الدسمة، وكثرة من أنواع المركبات العضوية الأخرى. هذا، بالإضافة إلى الغازات المنحلة في هذا الحساء البدئي، وعلى رأسها الهدرجين، والأمونياك (النشادر)، وأول وثاني أكسيد الكربون، والميتان، وغيرها من الغازات (يرجع إلى الجدول 3.1).

لقد كانت هذه المركبات كلها معلقة مع ذرات الجليد، مشكلة القسم الأساسي من الركام أو السديم الكوني الذي يقع بين الكواكب والنجوم والمجرات. لقد أدّى إذاً سقوط الأمطار إلى حمل هذه المواد كافةً إلى سطح الأرض، لتبدأ في الحساء البدئي وفي الصلصال (الغضار أو الطين) سيرورات كيميائية، تمثلت بأعداد من أنواع التفاعلات لا حصر لها، ساعدت على حدوثها الأشعة فوق البنفسجية التي كانت تفعّل الجزيئات بتشكيلها جذوراً حرة شديدة الفاعلية الكيميائية من جهة، وبتكسيرها جزيئات أخرى، فتحيلها إلى جزيئات أبسط بنية وأشد فاعلية. كما أنّ الأشعة تحت الحمراء سخنت (بفعلها الحراري) نقاط حدوث هذه التفاعلات، فيسرت من وقوعها، وسرعت حدوثها.

يمكننا الآن، وبعد عرضنا لبعض الجوانب التي أحاطت بنشوء الحياة، أن نشير إلى الفرضيات التي وضعت لتفسير هذا النشوء والتي اعتمدت البروتينات، أوالحمضين النوويين، الريبي منها (RNA، ARN)، والريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN). وربما لن تكون هنالك ضرورة ملحة لعرض أفكار كل من «أوبارين» (التي نشرت عام 1938 بعنوان «أصل الحياة»، و«هالدان» التي تحدثت عن الحساء البدئي (يرجع إلى الفقرة 7.1). فعلى الرغم من أهمية هذه الأفكار، وأثرها في تطور فهمنا لنشوء الحياة، فلقد وضعت تأكيداً (ربما كان أكثر مما تقتضيه هذه الأفكار) لإمكان نشوء الحياة من جزيئات كيميائية عادية، أي من المادة. وغني عن البيان أنّ أراء «أوبارين» و «هالدان» اتسمت بنزعة مادية جدلية صارمة. وبالنظر إلى أن المحور الأساسي لهذا الكتاب يتمثل بتطور موجّه ذي معنى، ويخضع لمنطق الضرورة وليس المصادفة، وأنّ هذا التطور أُطلق من عُقاله لحظة حدوث الانفجار الأعظَم، فمن البداهة إذاً أن تأتي مواد الحياة من مواد لاحية (خلافاً للتفسير السطحي الشائع لبعض أفكار «لازارو سبالانزاني» و «لوي باستور»، التي نقضت نظرية التكون الطوعي أو

41. Rosing, M. T., Science **283**, 674 – 676 (1999).



التلقائي يُرجع إلى المقدمة)، فالبكتيرة تأتي من بكتيرة أخرى. ولكن على الرغم من البداهة التي تبدو فيها حالياً أفكار «أوبارين» و«هالدان»، فلقد اكتسبت هذه الأفكار حتى أواخر الستينات رواجاً كبيراً، ومهدت السبل أمام تجارب وأفكار أكثر عمقاً، ولَّدها التقدم العلمي والتقاني اللذان حدثا ما بين الثلاثينات والسبعينات.

وعلى ما يبدو، فإنَّ آراء «أوبارين» و«هالدان» كانت وراء التجربة الشهيرة التي أجراها عام 1953 الشاب الأمريكي «ستانلي ميلر» Stanley Miller، الذي كان يبحث في مطلع الخمسينات عن موضوع رسالة لنيل درجة الدكتوراه في الكيمياء (يرجع إلى الصفحات 75-80 من المرجع 16)، وانتهى به الأمر في قسم الكيمياء بجامعة شيكاغو، حيث قبله «هارولد كلايتون أوري» Harold Clayton Urey [(1893-1981) الذي نال جائزة نوبل في الكيمياء عام 1938 لاكتشافه الدوتِريوم (الهدرجين الثقيل)]، ليعمل كطالب لدرجة الدكتوراه في مختبره. لقد مزج «ميلر» (لمحاكاة الجو البدئي المرجع) كلاً من الميتان (CH_4) والأمونياك (NH_3) وبخار الماء (H_2O) والهدرجين الجزيئي (H_2). وضع «ميلر» هذا المزيج في جملة مغلقة، يزودها على نحو دائم بالغازات الثلاثة خزانٌ يحوي مزيج هذه الغازات، الذي كان يتلاقى بالتفريغ -وعلى نحو مستمر- مع بخار الماء (الشكل 2.7). وكان هذا البخار يتشكل في قارورة زجاجية نتيجة تسخينها تسخيناً مستمراً. كان المزيج الغازي يتلاقى إذاً مع بخار الماء، ويمتزجان معاً قبل دخولهما كرة زجاجية، أُحدث فيها وبصورة دائمة انفراغ كهربائي (شرارة كهربائية)، يحاكي البرق الجوي، ويزود الجملة بالطاقة. وفي حين أن مزيج الميتان والأمونياك والهدرجين وبخار الماء كان يدخل الكرة الزجاجية من أحد قطبيها (العلوي) ماراً بالانفراغ الكهربائي، فإنَّ هذا المزيج (مع نواتج التفاعل) كانت تغادر من القطب المقابل (السفلي)، منقادة ضمن مكثف، يُضّخ فيه ماء التبريد من طرفه الجانبي العلوي، ليغادره من طرفه الجانبي السفلي. ويمر الماء المتبرد الحامل لنواتج التفاعل من المكثف إلى أنبوب زجاجي له شكل حرف U غير متساوي الطرفين. و ما إن تتراكم نواتج

الشكل 2.7. مخطط ترسيمي لتجربة «ميلر - أوري» (عن Casti,1991، المرجع 16، ص. 78)



التفاعل في القسم الأفقي من الأنبوب الزجاجي، حتى يتابع الماء في الطرف القصير من حرف U، ليصب في قارورة الماء التي تعاني التسخين. وبعد أن ضبط «ميلر» شروط التفاعل (من حيث نسب الغازات الثلاثة، وبخار الماء، ودرجة حرارة تسخين الماء، والمسافات في التسلسل بين قارورة التسخين ونقطة الانفراغ الكهربائي والمكثف وأنبوب التراكم)، ترك الجملة تعمل مدة أسبوع، ليكتشف في نهايته أن بعض الحموض الأمينية (الغليسين والألانين خاصة) قد تراكمت في قاعدة أنبوب التراكم. ولئن عرضنا للتجربة بشيء من التفصيل، فإنما يرجع ذلك لأسباب تاريخية، ذلك أنَّ نتائجها قد أذهلت في حينه كبار الباحثين، إذ اتضح أنه يمكن تركيب حموض أمينية (أو مواد عضوية) بدءاً من مواد لا عضوية (الميتان والأمونياك والهدرجين وبخار الماء). ومن المستغرب حقاً أن تُحدث نتائج «ستانلي ميلر» الضجة التي أعقبت إعلان نتائج التجربة في الوقت الذي كان الجميع يعلم أن الكيميائي الألماني «فريدريك فوهلر» Friedrich Wöhler (1800–1882) كان قد أنجز قبل مئة عام تقريباً من تجربة «ميلر» أول تركيب مخبري لمادة عضوية طبيعية هي البولة.

ونحن نعلم الآن، وكما كنا عرضنا غير مرة، بأن الركام أو السديم الكوني بين الكواكب والنجوم والمجرات يحوي من المركبات الهدروكربونية العطرية عديدة الحلقات وحدها قرابة سبعين مركباً. كما وهنالك 56 مركباً يحويها الجدول 3.1. هذا بالإضافة إلى حموض أمينية عديدة، وكذلك الأساسين العضويين الآزوتيين الأدنين والغوانين، وإيترات، وكحولات عطرية (كينونات) وعادية، والفورم ألدهيد، وحمض السيانيدريك . . . . إن وجود ذرات الماء الجليدي في الركام الكوني يتيح لها أن تعمل ركيزة تمتز (تعلق على سطوحها) أنواع المواد المشار إليها آنفاً (والغازية منها خاصة). وبتأثير من الأشعة فوق البنفسجية (وربما السينية، وأشعة غاما)، تتأين تلك المواد، وتتكسر جزيئاتها، فتدخل في تفاعلات لا حصر لها تقريباً. وبالنظر إلى أن الماء يبادل بالهدرجين العادي الدوتريوم (الهدرجين الثقيل)، وعلى اعتبار أن ذَوب بعض نواتج التفاعل في الماء يختلف عن ذَوب المواد المتفاعلة، فإن نواتج التفاعلات تغادر أحياناً السطح الماز[5.7] (الذي التصقت به مواد التفاعل)، مجنبةً الجملة تثبيط التفاعل.

وكنا أشرنا إلى أن الفورم ألدهيد تفاعل مع حمض السيانيدريك – بوجود الأشعة فوق البنفسجية –، ليعطي عدداً من أسس البورين (على رأسها الأدنين والغوانين). وخلاصة القول: إن مسألة اشتقاق مواد عضوية بدءاً من مواد لا عضوية أصبحت غير مطروحة حالياً، وانطوت أهميتها ضمن صفحات تاريخ «النماذج العلمية» paradigms، paradigmes. إن الأمر المهم في تقصي نشوء الحياة حالياً، يتمثل بالعثور على جزيء قابل للتوالد، وذاتي التحفيز. إن الفرضيتين الأكثر قبولاً لتفسير نشوء الحياة هما فرضية نشوء الحياة من البروتينات وفرضية نشوء الحياة من الحمض النووي الريبي (RNA، ARN). ولكن، وكما سنرى، فإن كل فرضية من هاتين الفرضيتين تنطوي على كثير من الافتراضات، التي يخفف التقدم العلمي والتِقاني تدريجياً من وطأتها الظنية، ويقربها أكثر فأكثر من الحقائق العلمية الراسخة.

(5.7) يحدث الامتزاز adsorption في كل مرة يوجد فيها سطح تستطيع الجزيئات المشتتة لمادة ما أن تلتصق به. ويؤدي هذا الالتصاق إلى نقص في السطوح، ومن ثم إلى نقص في الطاقة الحرة للجملة انسجاماً مع المبدأ الثاني للترموديناميك. ويمكن للقوى التي تسبب الامتزاز أن تكون غير نوعية كتلك التي تربط الغازات بالسطوح. كما يمكن لهذه القوى أن تكون نوعية وانتقائية فتعمل عندئذ محفزاً catalist، cataliste لإنجاز تفاعل معين. إن امتزاز الجزيء على سطح المحفز يقلل طاقة تنشيط الجزيء للدخول في تفاعل معين، فيحدث التفاعل بطاقة أقل. إن الطاقة الضرورية لحدوث تفاعل ما تكون أعلى فيما لو كان المحفز غير موجود. وإذا كان المحفز نوعياً، فإنَّ جزيئات ناتج التفاعل تنجذب إلى سطح المحفز بقوى أضعف من الجزيئات المتفاعلة، فتغادر عندئذ جزيئات ناتج التفاعل السطح المحفز، ليبدأ هذا السطح فاعليته من جديد. وعلى هذا الأساس يستعمل البلاتين الإسفنجي محفزاً، ووفقاً لهذا المبدأ أيضاً تعمل الأنزيمات في الجمل الحية.



ويرجع السبب في وجود هذه الافتراضات إلى أن الحياة بدأت قبل أربعة مليارات عام، وأن نشوءها استدعى حدوث عدد كبير من التفاعلات في شروط يصعب التحدث عنها دون إقحام هذه الافتراضات، واستغرق حدوث هذه التفاعلات ما بين ثلاثة وخمسمئة مليون عام، حيث كان سطح الأرض (التي تكونت قبل أربعة مليارات وستمئة مليون عام) قد تبرد (نتيجة هطول المطار) خلال أقل من أربعمئة مليون عام، كي يسمح بحدوث هذه التفاعلات. إنَّ الافتراضات هي «مظان» لا بد من التفكير فيها (في غياب الحقائق التجريبية) عند بحث موضوع ينطوي على تعقد الحياة نفسها. هذا، ويمكن الرجوع من أجل دراسات معمقة لنشوء الحياة من البروتينات إلى المرجعين 42 و 43 والصفحات 107-110 من المرجع 16، وإلى المرجعين 43 و 44 والصفحات 80-90 من المرجع 16 في ما يتعلق بنشوء الحياة من الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين (DNA، ADN)، وإلى المراجع 43 و 45 و 46 و 47 و 48 وإلى الصفحات 90-106 والصفحات 110-116 من المرجع 16 في ما يتعلق بنشوء الحياة من الحمض النووي الريبي (RNA، ARN)، ومن أجل فهم علاقة هذا النشوء بفرضية عالم السيليكات الصلصال؛ فرضية «كيرن-سميث» التي أشرنا إليها في الفقرتين السابقتين 2.7 و 3.7).

وسواءً نشأت الحياة من البروتينات، أو من أحد الحمضين النوويين (الريبي أو الريبي المنزوع الأكسجين، وبخاصة الأول منهما)، فإنَّ الحدث الأساسي الذي نقل «حياة» السيليكات (أو الصلصال) إلى حياة مركبات الكربون (إذا ما صحت فرضية «كيرن-سميث» التي تلقى قبولاً أكثر من غيرها)، يتمثل بالاستغناء عن الشُحن الكهربائية للأيونات المعدنية (مثل الصوديوم Na^+، والبوتاسيوم K^+، والمغنزيوم Mg^{2+}، والحديد Fe^{3+}، والألمنيوم Al^{3+}، والسيليسيوم Si^{4+}، التي اختُزنت كمعلومات وراثية نتيجة توزعها على سطح الصلصال، وتنسخت نتيجة التآثرات الأيونية بين الطبقات السطحية التي سبق تشكلها، والطبقات الجديدة الآخذة بالتشكل، كما سبق أن عرضنا في الفقرة 2.7)، والاستعاضة عن هذه الشُحن وتوزعها على سطح البلورة بجزيئات عضوية، سواءً كانت حموضاً أمينية (في حال نشوء الحياة من البروتينات)، أو كانت الأسس الآزوتية العضوية الأربعة: الأدنين والغوانين من البورين واليوراسيل والسيتوزين من البيريميدين (في حال نشوء الحياة من الحمض النووي الريبي). لقد أدى هذا الاستبدال (الجزيئات العضوية بالشُحن) إلى سيادة حياة الكربون على «حياة» السيليسيوم وذلك لسبب جوهري يتمثل في أن هذه الجزيئات تستطيع أن تتكوثر polymerize، polymeriser، فتشكل جزيئاً كِبرياً، وتحدث التفاعلات آنذاك بسبب تتامية السطوح من جهة، ولكون هذه التفاعلات نوعية من جهة أخرى، أضف إلى ذلك أن معظمها عكوسياً. ولولا هذه التفاعلات النوعية والعكوسة (يُرجع إلى الحاشية 2.5 والفقرة 4.6 والحاشية 3.6)، لم تكن لتنشأ الحياة من مركبات الكربون. فنمو بلورات الصلصال، أو أي جملة ذات تِقانة خفيضة، يتم نتيجة قوى أو روابط تكافؤية قوية، تنشأ بسبب تشافع إلكترونات المادتين المتفاعلتين (تفاعل الهدرجين والأكسجين لتشكيل الماء مثلاً، يرجع إلى الفصل الخامس). إنَّ تحطيم الرابطة التكافؤية (كي يصبح التفاعل عكوسياً) يحتاج إلى طاقة كبيرة لا يقوى نشوء الحياة عليها (إلا إذا توافر محفز أو أنزيم يخفض طاقة التنشيط - يُرجع إلى الحاشية 5.7). صحيح أن الشُحن الكهربائية للجزيئات (الحموض الأمينية في حال البروتينات، والنكليوتيدات في حال الحموض النووية)، تؤدي دوراً مهماً في عملية التركيب، أو البناء التتامي، في أثناء التنسخ، وصحيح أن عملية تكوثر وحدات البناء (أو اللبنات الأساسية الحموض الأمينية والنكليوتيدات)، تتم بنشوء روابط تكافؤية، إلا أن عملية التضاعف نفسها تقتضي حتمية انفصال الشريطة التتامية (كما تنفصل في طراز



«كيرن-سميث» وريقات أو طبقات البلورة الواحدة عن جسم البلورة، لتكوّن بلورة جديدة). إن بناء التقانة الرفيعة على حساب التقانة الخفيضة باستبدال الجزيئات الكربونية بالشُحن الكهربائية، وبتوزعها على سطح البلورة، إن هذا الاستبدال مكّن من حدوث التكوثر من جهة، ومن جعل التفاعلات نوعية وعكوسة، تحدث بتتامية السطوح من جهة أخرى، وتنجم في الوقت نفسه عن القوى أو الروابط اللاتكافؤية الأربع: الهدرجينية والكهربائية الساكنة ومكارهة الماء وفان درفالس (يُرجع إلى الفقرة 6.4 والحاشية 6.3). وكما عرضنا غير مرة، فإن القوى أو الروابط التكافؤية واللاتكافؤية كانت قد تفرعت عن القوى الأربع للطبيعة (إرادة الله). فلولا تتامية الجزيئات العضوية، ونوعية التفاعلات، وعكوسيتها التي تنجزها المركبات الكربونية (التي نشأت بسبب الروابط الأربع اللينة للكربون) لما كانت قامت حياة الكربون.

إنّ تعرف الجزيئات التي بدأت بها الحياة أمر مهم علمياً، ولكن ما هو مهم أكثر (في اعتقادنا) هو هذا التطور الموجه ذو المعنى الذي أدى إلى الاستغناء عن الشُحن الكهربائية اللانوعية وتوزعها كحاملات للمعلومات الجينية، لتأخذ مكانها مكوثرات من جزيئات عضوية، اؤتمنت على اختزان هذه المعلومات. إن أهم ما تميزت به هذه الجزيئات الكِبرية هو نوعية تفاعلاتها، وعكوسية هذه التفاعلات، التي تحدث لتضمن سيرورات كفوءة للنمو (نتيجة الاستقلاب)، والتكاثر (نتيجة النمو)، والتبدل أو الطفر (نتيجة استبدال جزيء عضوي جديد أو لبنة في البناء بجزيء عضوي سبق وجوده في المكوثر)، واختزان المعلومات الجينية الضرورية لتوليد الأجيال التالية.

7.4.1. فرضية نشوء الحياة من البروتينات

يمكن القول بتبسيط شديد إنّ البروتينات تسود بيولوجياً الكائنات الحية الحالية. فهي مسؤولة عن تنظيم علاقاتنا مع الوسط الذي نعيش فيه. إنها تنقل تأثيرات المواد والعوامل المختلفة من الوسط إلى أجسامنا (خلايانا)، فتستجيب هذه لتلك التأثيرات بردود فعل معينة، تنجزها البروتينات أيضاً. ومع أنها لا تشكل أكثر من عشرة في المئة من كتلة الجسم، فإن البروتينات تمثل خصائصنا وصفاتنا الظاهرة (النمط الظاهري phenotype، phénotype)، من لون الشعر إلى شكل الوجه وقسماته، إلى طول الجسم وحركاته وانفعالاته... وتتألف البروتينات من تكوثر عشرين حمضاً أمينياً (لبنات بناء البروتين[6.7])، لذلك فإن عددها لا حصر له تقريباً. إن أصغرها حجماً (الأنسولين البشري) يتألف من 51 حمضاً أمينياً، ويمكن لبعضها أن يتألف من آلاف الحموض الأمينية. ومع أنّ كل حمض من الحموض الأمينية العشرين يملك زمرة أمينية (NH_2- ومنها أتى اسم هذه الحموض) قلوية التفاعل، أي موجبة الشحنة (ويحدث ذلك لدى انحلال الحمض في الماء، فتتحول الزمرة الأمينية إلى الإيون NH^{3+}-)، وزمرة كربوكسيلية (COOH-) حمضية التفاعل وسلبية

(6.7) من البدهي أن الغاية من هذه الدراسة ليست كيميائية حيوية، لأن دراسة الجزيئات الكِبرية وغيرها من الجزيئات العضوية من الناحية الكيميائية الحيوية، تقع خارج نطاق هذا الكتاب (يمكن الرجوع من أجل تفصيلات معمقة إلى المرجع 30 وإلى معالجة مبسطة باللغة العربية في كتاب «مقدمة في علم الخلية وعلم الجنين»، للمؤلف، منشورات جامعة دمشق، 1978. ويمكن القول عموماً إن البروتينات تتكون في سيتوبلازما الخلية، على الحبيبة الكبيرة من الريبوزمات التي تحوي المقرين A (من amino acid، acide aminé)، وP (من رابطة ببتيدية peptide bond، liaison peptidique)، حيث يرتبط في المقر A الحمض الأميني الذي سيدخل في سلسلة الببتيد الآخذة بالتشكل، ويتم في المقر P ارتباط الحمض الجديد بالحمض الذي سبقه عن طريق تشكل الرابطة الببتيدية

$$\leftarrow \quad -\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{N}}-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-$$

وخروج جزيء من الماء.





الشحنة (ويحدث ذلك لدى انحلال أو تأين الحمض في الماء أيضاً، فتتحول الزمرة الكربوكسيلية إلى الإيون $-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow O^-\end{smallmatrix}$)، فإن لكل حمض من هذه الحموض ذَوب في الماء يختلف عن أي حمض آخر، وهذه خاصة تغاير مهمة سنشير إليها بعد قليل. وكما كنا ذكرنا في ما سبق (يُرجع إلى الحاشيتين 7.5 و 4.6)، فإن الحموض الأمينية تتميز بخاصة التأين الثنائي، أي إن الجزيء يشكل لدى ذوبه في الماء إيوناً موجباً وآخر سلبياً، وفي بعض الحالات إيونين من نوع واحد، وإيون واحد من النوع الآخر.

وتأخذ البروتينات (من حيث الشكل) نمطين اثنين: البروتينات الليفية، وتتألف من خيوط رفيعة جداً، توجد في هيكل الخلية والعضلات والنسيج الضام وأوتار العضلات... (الشكل 3.7).

الشكل 3.7 . صورة تألقية بالمجهر الإلكتروني النفَّرسي (الماسح) لخيوط الأكتين التي تشكل جزءاً أساسياً من هيكل الخلية . لقد تم تلوين الخلية بضد نوعي متألق خُضرٌ باستعمال الأكتين كمستضد (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 62) .

←ويقوم النكليوتيد الأدنين رقم 2451 من الحمض النووي الريبي الريبوزومي 28S - بالتفاعل أي تشكيل الرابطة الببتيدية. لذا، فإنه يمكن إطلاق اسم ريبوزيم على الريبوزوم [انظر الشكل التالي من المرجع: Cech, T.R., Seienee **289**, 878-879 (2000)] حيث تأتي زمرة OH من كربوكسيل الحمض الأميني السابق، وذرة الهدرجين H^+ من أمين الحمض الجديد). ويتم تنضيد هذه الحموض الأمينية على الحبيبة الكبيرة من الريبوزوم وفقاً لروامز codons، تتألف كل رامزة منها من ثلاثة نكليوتيدات، يتكون منها الحمض النووي الريبي الرسيل (ARNm) acide ribnucleique messager, (mRNA) messenger ribonueleie acid، الذي انتسخ عن جين معين في النواة، وأتى إلى السيتوبلازما بهذه الرسالة التي تتألف من رموز (تتاليات ثلاثيات النكليوتيدات المتممة لتتاليات نكليوتيدات الجين المعني)، لتتم ترجمتها (قراءتها) إلى معنى محدد ودقيق، هو جزيء البروتين المرمَّز في الرسالة. وتنقل الحموض الأمينية على حمض نووي ريبي ثانٍ هو الحمض النووي الريبي الناقل (ARNt) acide ribonueleique de transfer, (tRNA) transfer ribonueleie acid، يأتي بها إلى المقر A من حبيبة الريبوزوم الكبيرة، ويضعها في مكانها بسبب تتامية ثلاثية نكليوتيدات (تعرف بمقابلة الرامزة anticodon) مع النكليوتيدات الثلاثة في الرسيل والتي تعرف بالرامزة codon. فالنوعية هنا تتمثل بالرامزة على الرسيل وبمقابلة الرامزة على الناقل التي تحدد نوعية هذا الناقل (هنالك كما سنرى 61 ناقلاً موزعة على عشرين حمضاً أمينياً (يمكن إذاً أن يكون للحمض الأميني الواحد أكثر من ناقل واحد، ولبعضها ستة نواقل). أمَّا الريبوزوم، أو الريبوزيم، (الذي يتألف من ثلاثة حموض نووية ريبية ريبوزومية (ARNr) acide ribonueleique ribosomique, (rRAN) ribosomal ribnueleie acid ، ومن خمسة وخمسين نوعاً من البروتين، تعمل كحامل فيزيائي فقط، فتحول دون انثناء أشرطة rRNA، ARNr، وتيسِّر عملية التحفيز، ولا تتدخل مباشرة بحدوث تفاعل تشكل الرابطة الببتيدية (يُرجع إلى المرجع المذكور أعلاه). غير نوعي، ويمكن «استئجاره» لتركيب أي نوع من البروتين. يمكن القول إذاً (وبتبسيط شديد) إن الجين يتألف من تسلسلات DNA، ADN الموجودة ضمن نواة الخلية ولا تغادرها، وتشكل ما يعرف بالنمط الجيني genotype، génotype) فالريبوزوم هو الذي يعطي الفرد نمطه الظاهري، أي يرمز البروتينات التي تشكل بنية الفرد ووظائفه). وتكون هذه التسلسلات على شكل ثلاثيات من النكليوتيدات. تنتسخ هذه الثلاثيات على شكل ثلاثيات متممة لها، تعرف عندئذ بالروامز الجينية (ومجموعها الراموز أو الكود الجيني، أو الوراثي)، تؤلف كلمات الرسالة. يذهب الرسيل (بعد نضجه في النواة) إلى السيتوبلازما كي تترجم (تقرأ) الرسالة من قبل الريبوزوم (وبوجود الحموض النووية الناقلة) إلى جزيء بروتيني له هيئة محددة، ويقوم بوظيفة معينة (يمكن الكشف عنها أو إظهارها). ويكون هذا الجزيء إما بنيوياً (أي يشكل جزءاً من البنى داخل الخلية أو خارجها)، أو تحفيزياً (يشكل أنزيماً ما)، ينجز تفاعلاً كيميائياً حيوياً نوعياً. فالمعلومات الوراثية مختزنة في DNA، ADN على شكل رموز (وليس على شكل شُحن كهربائية موزعة على جسم بلورة الصلصال، أو السيليكات بما يعرف بالتقانة الخفيضة). وبالنظر إلى أن هذه المعلومات الجينية مسؤولة عن الإرث البيولوجي لأفراد النوع الواحد، فلقد حلت (في هذه التقانة الرفيعة) ثلاثيات النكليوتيدات (أو الروامز الجينية) مكان الشُحن وتوزعها، وأُدخلت مستويات مختلفة من الضبط النوعي (التنسخ أو التكرار replication، réplication الضروري للتكاثر والانتساخ transcription والترجمة translation، traduction)، وذلك استبعاداً (بقدر الإمكان) للأخطاء التي قد تقع، والتي يمكن لبعضها أن يكون مميتاً للفرد، أو مهدداً النوع بالانقراض، ويشكل هذا جزءاً من نظام ضبط الجودة في الخلية.



وتقوم هذه البروتينات عادة بوظائف بنيوية، وبخاصة وظائف الحركة. أمَّا النمط الثاني، فيتمثل بالبروتينات الكروية (المتكتلة أو اللاخيطية)، كالأنزيمات كلها (الشكل 7 .4)،



الشكل 7 .4. طراز مليء الأحياز (البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية) لجزيء الليسوزيم. لقد تم إظهار أهم ثمالتين تحفيزيتين (الأحمر والأخضر) في المقر الفعال لهذا الأنزيم الواسع الشيوع. كما تم إظهار ثمالات عدد آخر (الأصفر) من ثمالات المقر الفعال (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 190).

والهيموغلوبين (الشكل 7 .5) الذي ينقل أكسجين الهواء من الرئتين إلى خلايا الجسم.

الشكل 7 .5. طراز مقر ربط الأكسجين في سلسلة من سلاسل الهيموغلوبين الأربع (الرمادي). إن الأكسجين الجوي O_2 (الأخضر) يترابط في أحد الوجوه بزمرة الهيم (الأحمر). وترتبط إحدى ثمالات الهستدين (الأزرق) في الوجه الآخر (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 147).

وتقوم البروتينات الكروية عادة بتحفيز (أي خفض الطاقة الضرورية لحدوث تفاعل معين) التفاعلات الكيميائية الحيوية الخاصة بالنمو (الاستقلاب)، وتنظيم ردود الفعل على التأثيرات ذات المصدر الداخلي أو الخارجي. كما أن بعضها هرموني يستثير تفاعلات كيميائية حيوية معينة، وبعضها الآخر يدافع عن الجسم ضد الممرضات -الأضداد- (العوامل الممرضة أو الغُزاة). إن قسماً من البروتينات ذات التسلسل القصير، تعمل كنواقل عصبية أو مناعية (أنواع السيتوكينات)، أو أنها تقوم بوظائف نمو معينة (عوامل النمو التي تعمل كعوامل انتساخ)، أو تنظم انتساخ الجينات إلى رسلها (عوامل الانتساخ)، وغيرها كثير (يوجد في جسم الإنسان مابين 300 و400 ألف نوع من البروتينات).

إنَّ الاستنتاج الأساسي الذي يمكن استخلاصه من العرض المبسط السابق ذو شقين: الأول هو وجود عشرين حمضاً



أمينياً، يختلف كل واحد منها عن الآخر ببنيته الكيميائية وبمدى ذَوبه في الماء (أو ما يعرف بنقطة التوازن الإيواني، أو برقم التساوي الكهربائي pK)؛ أي إن كل حمض أميني يحتاج إلى ماء ذي رقم هدرجيني معين أو pH (يُرجع إلى الحاشيتين 4.6 و7.5) كي يذوب (أو يتأين على الأقل إلى إيون موجب NH^{3+}- وإلى إيون سلبي $-C\overset{O}{\underset{O^-}{}}$ ، وأحياناً إلى إيونين من نوع واحد، وإيون واحد من النوع الآخر). وتستطيع هذه الحموض أن تشكل (حتى لو كان عددها في بدء بدايات نشوء الحياة على سطح الأرض ستة حموض أمينية فقط - يُرجع إلى الصفحات 107-110 من المرجع 16، وإلى المرجع 43، وبخاصة فرضية «فريمان دايسون» Freeman Dyson)، تستطيع إذاً أن تشكل عدداً كبيراً جداً من أنواع الجزيئات البروتينية. إن الصفة الأساسية لبعض البروتينات (البروتينات الأنزيمية) هي المقدرة على التحفيز. لهذا، فإن كثيراً من الباحثين اعتقدوا في الماضي أن الحياة نشأت بالبروتينات. ومع أنه أمكن مؤخراً البرهان [42-43] مخبرياً على أن جزيئاً بروتينياً يتألف من أربعة سلاسل ببتيدية (إذا كان طول سلسلة البروتين قصيراً نسبياً، أو كان هذا التسلسل معروفاً، فتسمى السلسلة عندئذ ببتيداً، لتمييزه عن سلاسل أخرى، يدخل معها في بنية جزيء بروتيني واحد)، إن هذا الجزيء يمتلك إذاً المقدرة على تحفيز نفسه بنفسه، وعلى تحفيز بروتينات قريبة منه، كما أن هذا الجزيء قادر في الوقت نفسه على التضاعف، إنما عندما يتم إجراء تعديل في شروط التفاعل. على الرغم من هذا كله، فإن فرضية بدء الحياة بالبروتينات قد تراجعت مؤخراً، لتفسح المكان الرئيس في المسرح إلى جزيء آخر هو الحمض النووي الريبي.

كما كنا عرضنا منذ قليل، فإن فرضية نشوء الحياة من البروتينات تقدمت غيرها من الفرضيات بسبب الفاعلية التحفيزية ذات التنوع الواسع للبروتينات الأنزيمية (أي أنها قادرة على إنجاز ضروب متنوعة جداً من التفاعلات باستهلاك كميات قليلة نسبياً من الطاقة). ولكن عدم مقدرة البروتينات (إلا في شروط خاصة جداً، وبحالات غاية في الاستثنائية) على التضاعف ظل، ويظل باستمرار عائقاً أمام شمولية هذه الفرضية. ويمكن التأكيد أنه يصعب على شبكة من ببتيدات عشوائية أن تنشئ روابط ببتيدية ذات تسلسلات نوعية. ذلك أن النوعية العالية لبروتينات الجمل الحية الحالية مختزنة على شكل معلومات وراثية في جينات الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين. كما أنه يصعب البرهان على نطاق واسع على أن البروتينات تمتلك المقدرة على التنسخ الذاتي (التوالد). ومن المستبعد أيضاً أن تنشأ الحياة بدءاً من جزيئات بروتينية، يمكن ضبط مستوى تشكلها وفقاً لوضع الجملة الحية، فتغزر أحياناً، وتقل في أحيان أخرى، ذلك أنها تشكل جزءاً من النمط الظاهري الذي هو على تماس مباشر مع الوسط الخارجي[44].

وأخيراً، فإنَّ جزيء البروتين هش وسريع العطب، ويتمسخ (يفقد الجزيء -ولو جزئياً- هيئته السوية ذات الأبعاد الثلاثة الوظيفية)، فتضعف فاعليته، ولا يصمد أمام ظروف متطرفة (من حيث الحرارة والإشعاع والرقم الهدرجيني . . .)، كانت تسود الأرض في بدء بدايات نشوء الحياة. وأخيراً، فلقد أمكن البرهان مخبرياً [45-48] على أنه يمكن لتسلسلات قصيرة من الحمض النووي الريبي أن تحفز نقل الحموض الأمينية، تماماً كما يحدث في المقر P من الحبيبة الكبيرة للريبوزوم،

42. Yao,S. et al., Nature **396**, 44- 450 (1998).
43. Joyce , G., Nature **338**, 217 – 224 (1989).
44. Luther , A. et al., Nature, **396**, 245 –248 (1998).
45. Lohse , P. A. and Szostak, J. W., Nature **381**, 442 – 444 (1996).
46. Robertson, M. P. and Ellington, A. D., Nature **395**, 223 – 225 (1998).
47. Unrau, P. J. and Bartel, D. P., Nature **395**, 260 – 263 (1998).
48. Hirao , I. And Ellington, A. D., Current Biology **5**, 1017 – 1022 (1995).



أو الريبوزيم (يُرجع إلى الحاشية 7 .6)، حيث يتم ربط حمضين أمينيين برابطة ببتيدية، الأمر الذي ينزع عن البروتين صفته التحفيزية الضرورية لنشوء الحياة التي كان يتفرد بها، وكانت أساساً وراء فرضية نشوء الحياة من هذه الجزيئات.

7 .4 .2. نشوء الحياة من الحمض النووي الريبي

ظلت فرضيتا نشوء الحياة الرئيستان من البروتينات ومن الحمض النووي الريبي المنزوْع الأكسجين (DNA، ADN) سائدتين حتى مطلع الثمانينات، علماً بأن فرضيات أخرى محدودة القبول قد طُرحت أيضاً (كمجيء الحياة إلى الأرض من كوكب أو نجم آخر، محمولة على نيزك ما، و كانت على شكل جزيئات بسيطة غير بلورات الصلصال، سادت قبل الحياة prebiotic، prèbiotique). وكانت فرضية نشوء الحياة من البروتينات وما تزال تعاني (كما سبق وعرضنا في حينه) من عدم مقدرة البروتينات على التنسخ الذاتي الأساسي للانقسام (أو التوالد؛ أي نقل المعلومات من جيـل إلى آخـر). فصحـيـح أن البروتيـنـات تسود عالم اليوم من حيث البنية والوظيفة (النمط الظاهري)، وتتمتع، كأنزيمات، بمقدرة متنوعة جداً على تحفيز التفاعلات البيولوجية، إلا أنها تعاني عجزاً أساسياً يتمثل -كما سبق أن أشرنا- بعدم مقدرتها على اختزان المعلومات الضرورية لتكوين الأجيال القادمة بسبب افتقارها إلى خاصة التنسخ الذاتي (أي توليد نفسها بنفسها). أما في ما يتعلق بفرضية نشوء الحياة من DNA، ADN، فتعاني -بعكس البروتينات تماماً- من عدم مقدرة هذا الجزيء على التحفيز (أي عدم المقدرة على إنجاز التفاعلات الكيميائية الحيوية في شروط الحياة والتي تخصص البروتينات الأنزيمية)، مع العلم أنه تم مؤخراً، وفي المختبر، تحضير تسلسل خاص جداً من DNA، ADN، يستطيع (في شروط استثنائية متطرفة القيام بتفاعل تحفيز حلمهة الرابطة بين نكليوتيدين). ولا نعلم فيما إذا كانت هذه الشـروط قـد تحققت قبل 3.7 مليار عام [انظر: Breaker, R.R., Scienee **290**. 2095-2096(2000)]. وتجدر الإشارة إلى أن عمل DNA، AND كإنزيم، يحفز حلمهة (تقويض) تسلسلاته هي حقيقة كان المؤلف قد تنبأ بها عام 1992 (أي قبل ثماني سنوات من نشر هذا البحث) [انظر: «**مقدمة في علم المناعة الجزيئي**»، للمؤلف، الصفحة 103 السطر 14، منشورات جامعة دمشق، (1992)]: وبدهي أن هذا الجزيء يستطيع أن يختزن المعلومات الوراثية اللازمة لتشكيل الأجيال القادمة بسبب تمتعه بخاصة التنسخ الذاتي. ولم يتمكن أحد حتى الآن من البرهان على أن جزيء DNA، ADN، قادر -في شروط الحياة- على القيام بعمليات تركيبية أو تقويضية (أي عمليات تحفيزية). وحتى لو تم البرهان على ذلك مستقبلاً (كما يعتقد مؤلف هذا الكتاب حتمية ذلك)، فإن جزيء هذا الحمض ذا الحلزون المزدوج أعقد من أن يبدأ الحياة. وهنالك شبه إجماع بين الباحثين على أن جزيء الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين ظهر في أثناء التطور متأخراً، وساد (بسبب سهولة تنسخه و صلابة جزيئه) على حساب جزيء آخر أبسط منه بنية (كما حدث لبلورات السيليكات-الصلصال-، يرجع إلى الفقرة السابقة 7 .3 ، عندما حلت محلها حياة الكربون الأكثر كفاية من حيث سرعة النمو). هذا، وسنعمد إلى معالجة خصائص جزيء DNA، ADN، في الفقرة 7 .6.

في عام 1984 نشر فريق في جامعة بولـدر في ولاية كولورادو الأمريكـية، يقوده البـاحث «تومـاس روبرت سيش» Thomas Robert Cech (1947) بحثاً[49] (انـظر أيضاً المرجع 91)، يبرهن فيه على أن تسلسلات قصيرة من الحمض النووي الريبي RNA، ARN قادرة على تحفيز نفسـها بنفسـها تحفيزاً نوعياً جداً (أي إن الجزيء يقطع نفسه بنفسه، ليستبعد تسلسلاً محدداً، ويعود ليربط طرفي القطع، أي ربط نقطة بداية القطع بنقطة نهاية القطع، بسيرورة

49. Bass, B. L. and Cech, T. R., Nature **308**, 820-826 (1984).



تعرف بالتجديل splicing، الأمر الذي يؤدي إلى استبعاد تسلسل من جزيء الحمض يعرف بالإنترون intron، وهذا موضوع سنعود لمعالجته في الفقرة التالية 7 .5). وتم هذا التحفيز ذو النوعية العالية (لأنه يتناول جزيئاً وراثياً أساسياً) بغياب البروتين. وبناء على هذا الاكتشاف (البرهان على أن جزيء RNA، ARN يمتلك خاصة التحفيز، صفة اقتصرت حتى الآن حصراً على البروتينات الأنزيمية)، فإن« سيش » منح جائزة نوبل عام 1989، تقاسمها مع باحث آخر، واستبعدت اللجنة (التي تمنح الجائزة في معهد « كارولينسكا » في ستكهولم بالسويد) باحثة فرنسية كانت تمضي في مختبر «سيش» عاماً سبتياً، وقامت هي بالتجربة. وعلى الرغم من تدخل الرئيس الفرنسي آنذاك « فرانسوا ميتيران »، فإن اللجنة لم تغير من قرارها، وهذا تقليد تسير عليه اللجنة منذ عام 1889 حينما أسس الجائزة في وصيته ومن أمواله الخاصة الكيميائي والصناعي السويدي « ألفرد نوبل » Alfred Nobel (1833-1896). وتعد هذه الباحثة (وفقاً لمعلوماتنا) الضحية الرابعة. إذ أن الضحية الأولى («روزاليند فرنكلين») كانت عام 1953 لإسهامها في اكتشاف البنية الحلزونية المزدوجة لجزيء DNA، AND، والثانية («جوسلين بل») عام 1974 لإكتشاف النجم النابض، والثالثة(«جورج غاموف») عام 1978 لإكتشاف الأشعة الثمالية الخلفية (يُرجع إلى الحاشية 3 .8). إن خطأ الباحثين الذين ارتضوا في بعض الحالات إسناد حق اكتشاف كان لغيرهم إسناداً كلياً لأنفسهم لا يقل جسامة (من حيث المسؤولية الأخلاقية) عن خطأ اللجنة التي تمنح الجائزة. وبالتأكيد، فإن هنالك باحثين كُثراً لم نسمع بهم واجهوا الاستبعاد نفسه، فالاكتشافات الكبرى في العلوم (والأساسية منها خاصة)، تأتي نتيجة حتمية لتراكم معلومات شتى، والأمثلة عديدة على ذلك، وكنا أشرنا إلى بعض منها.

إن بوسع جزيء RNA، ARN أن ينجز السيرورتين معاً: التنسخ الذاتي (اختزان المعلومات الوراثية الضرورية لتكوين أجيال المستقبل، النمط الجيني)، والتحفيز أو إنجاز التفاعلات البيولوجية (الكيميائية الحيوية) بغياب البروتينات الأنزيمية. وسبق أن أشرنا إلى أنه تم مؤخراً [45] البرهان على مقدرة تسلسلات قصيرة من هذا الحمض على إنجاز ربط حمض أميني بآخر (بتشكيل الرابطة الببتيدية)، أي تركيب البروتينات نفسها. وبالإضافة إلى هذين السببين الرئيسين للافتراض على نحو راسخ بأن الحياة بدأت بهذا الجزيء، هنالك أسباب أخرى لا تقل (من حيث المنطق) وجاهة، ويمكن إجمالها على النحو التالي (لقد استُقي معظمها من المرجع 43):

أولاً. إن جزيءRNA، ARN يتألف (كما سبق أن عرضنا) من تكوثر أربعة نكليوتيدات لأسس عضوية آزوتية أربعة، هي: الأدنين والغوانين (من البورين purine) والسيتوزين واليوراسيل (من البيريميدين pyrimidine). ويتألف كل نكليوتيد من ارتباط الأساس العضوي الآزوتي بسكر خماسي الكربون، الذي يرتبط بدوره بزمرة فسفات (الشكلان 7 .6 و 7 .7). وكما عرضنا غير مرة، فإن الفورم ألدهيد، وحمض السيانيدريك الموجودين في الركام أو السديم الكوني، وفي الحساء البدئي (ومن ثم في الصلصال)، يتفاعلان بتأثير الأشعة فوق البنفسجية، ليشكلا ليس فقط الأدنين والغوانين، بل أيضاً مركبات بورينية أخرى (ثنائي أمينو البورين والهيبوكسانتين والكسانتين).

الأدينوزين منزوع الاكسجين
(نكليوزيد)

الشكل 7 .6. تمثيل صيغة أحد النكليوزيدات (الأدينوزين منزوع الأكسجين). يتألف جزيء النكليوزيد من ارتباط أساس عضوي آزوتي بأحد الجوانب (الأيمن اصطلاحياً) من جزيء الريبوز المنزوع الأكسجين برابطة إسترية (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 76).



ثالث فسفات-5 الأدينوزين منزوع الاكسجين(dATP)
(نكليوتيد)

الشكل 7 . 7. تمثيل صيغة أحد النكليوتيدات (ثالث فسفات الأدينوزين) . لقد ارتبطت ثلاث زمر فسفات بالجانب الآخر (الأيسر) من جزيء الريبوز بوساطة جسر فسفاتي ثنائي الإستر . إن الشحنتين السلبيتين المتنافرتين لكل من أكسجين الريبوز والفسفات هما اللتان منعتا جزيءRNA ، ARN من تشكيل حلزون « واتسون ـ كريك » (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 76) .

ثانياً. إن الخصائص الكيميائية الحيوية لجزيء RNA، ARN كدالة template، moule، تسهل كثيراً سيرورة التنسخ الذاتي (الأساسية لاختزان المعلومات الوراثية لتكوين الأجيال التالية). إن بوسع كل شريطة (أو تسلسل من الحمض النووي الريبي) أن تشكل شريطة متممة لها بالتفاعل التتامي للنكليوتيدات الأربعة: إن الأدنين يتطابق بالتتامية مع اليوراسيل وعكس ذلك صحيح، والغوانين مع السيتوزين والعكس صحيح أيضاً. فتُخَلّد عندئذ الشريطة مادامت الشروط الضرورية لهذا التنسخ متوافرة. وتأكيداً لهذه الحقيقة، نذكر أن لعدد من الفيروسات (والفيروسات المغايرة retroviruses، rétrovirus على وجه التخصيص، كفيروس متلازمة عوز المناعة المكتسب الإيدز AIDS، أو السيدا SIDA مثلاً)، إن لعدد منها إذاً جينوماً -مجموعة جينات نوع من الأنواع ـ من RNA، ARN.

ثالثاً. إن لجزيء الحمض النووي الريبي (كما كنا عرضنا منذ قليل) خصائص تحفيزية تتمثل بعملية التجديل الذاتي المشار إليها آنفاً، حيث تزال الانترونات لتستبعد، ويعاد ربط ما هو قبلها بما هو بعدها (التسلسلات المرمِّزة التي تعرف بالإكسونات exons). كما تتمثل هذه الفاعلية التحفيزية بالمقدرة على تشكيل الرابطة الببتيدية نفسها بين حمضين أمينيين[45] وبإنجاز تفاعلات تحفيزية أخرى سنعرض لها فيما بعد. **وإن دل هذا على شيء، فإنما يدل على أن لجزيء RNA، ARN إذاً (وكما أسلفنا غير مرة) خاصتين أساسيتين، تؤهلانه لبدء الحياة: الأولى اختزان المعلومات الجينية الضرورية لتكوين الأجيال التالية ممثلة بالتنسخ الذاتي كما ورد في «ثانياً» (وهذا هو النمط الجيني). أما الخاصة الثانية، فتتمثل بالمقدرة على التحفيز (وهذا هو النمط الظاهري). إن لهذا الجزيء إذاً دوراً «بنيوياً» كمختزن للمعلومات الوراثية أو الجينية، ودوراً «وظيفياً» يتمثل بالفاعلية التحفيزية. إن جزيء RNA، ARN يمثل في آن واحد البنية والوظيفة (أي النمط الجيني والنمط الظاهري)، وهما المعياران الحقيقيان لأي جملة حية**[(7.7)].

(7.7) **أولاً**. إن جزيء الحمض النووي الريبي يؤدي دوراً مهماً في الجمل البيولوجية الحديثة. ويتبدى هذا الدور في اشد مظاهره وضوحاً في تلك السيرورات الخلوية التي يعتقد أنها تنتمي إلى أكثر الفاعليات الخلوية إيغالاً في القدم. ونذكر من هذه السيرورات ما يلي: 1. إن تنسخ DNA، ADN في أثناء انقسام الخلية (أو توالد الكائنات الحية) يتم بمساعدة (أو بترئيس) من RNA، ARN، أي أنه يتم أولاً تركيب تسلسلات من RNA، ARN، تحوَّل (بوساطة أنزيم الانتساخ العكسي) إلى تسلسلات متممة لها من DNA، ADN، تستعمل لبناء الشريطة المتممة اللازمة من DNA، ADN. 2. يحمل جزيء الحمض النووي الريبي الرسالة الجينية (الوراثية) من DNA، ADN (النمط الجيني) لتترجم إلى صفة، أو بنية، أو وظيفة ظاهرة (النمط الظاهري)، تتمثل بالبروتينات. 3. يقوم جزيء RNA، ARN بجمع الحموض الأمينية، ووضعها في مواضعها المناسبة وفقاً لبنية الرامزة في جزيء الحمض النووي الريبي الرسيل، التي تترابط بالتتامية مع مقابلة الرامزة في الحمض النووي الريبي الناقل. ←



وبالنظر إلى مشكلة التنوع الكبير للبروتينات كمحفزات (أنزيمات)، وعدم مقدرتها على تشكيل النمط الجيني (اختزان المعلومات الضرورية للتنسخ، ومن ثم لتكوين أجيال المستقبل)، وعلى اعتبار أن جزيء الحمض النووي الريبي قد جمع الخاصتين كلتيهما، فلربما يكون العرض السابق قد شكل لدى القارئ الانطباع بأن فرضية نشوء الحياة من RNA، ARN لا تستثير أي اعتراض، ولا تعتورها أي صعوبة. وكما سبق أن أشرنا، فإن موضوع نشوء الحياة كان بداهة وراء الحياة نفسها، وصعوبات حل ألغاز الحياة موروث أصلاً من هذا النشوء. فالصعوبة الأولى لبدء الحياة بهذا

←كما أن جزيء RNA، ARN يمثل القسم الوظيفي التحفيزي من بنية الريبوزومات، أو الريبوزيمات. ويؤدي هذا الحمض دوراً مركزياً في جسيمات التجديل (كما سنعرض في الفقرة التالية). ويدخل أيضاً كبنية أساسية في الأنزيم البروتيني النووي الريبي، الذي يوجه تركيب القسيمات الانتهائية telomeres، télomères لصبغيات حقيقيات النواة (موضوع سنتطرق له عند الحديث عن نشوء التسرطن أو الخباثة، انظر الفقرة 4.8 و الفقرة 1.4.9).

ثانياً. إن معظم أنواع تميمات الأنزيمات coenzymes (تميم الأنزيم جزيء، يشكل مع جزيء الأنزيم، جزيئاً مركباً ضرورياً لقيام الأنزيم بوظيفته التحفيزية) هي نكليوتيدات ريبية، أو جزيئات مشتقة منها. وكنا ذكرنا اثنين أساسين منها، يتوسطان نقل الطاقة، هما ثنائي نكليوتيد أدنين النيكوتيناميد (NAD)، وثنائي نكليوتيد أدنين الفلافين (FAD) (يرجع إلى الحاشية 3.5 والشكل 3.5). وتوضح هذه الحقيقة بمفردها أن الحمض النووي الريبي، والأنزيمات التي يتشارك هذا الحمض معها البنية والوظيفة كانت موجودة حتى قبل تطور ماكنة تركيب البروتينات. كما أن جزيئات اختزان الطاقة (ATP، GTP مثلاً) هي نكليوتيدات ريبية أيضاً، وليست ريبية منزوعة الأكسجين.

ثالثاً. إن التركيب الحيوي للحمض الأميني الهستيدين، الذي يؤدي دوراً مهماً في التحفيز الأنزيمي (كأليف للنواة أو كمحفز عام حمض- أساس)، يتم عبر مسلك غير عادي، حيث يبدأ بمركبين: أحدهما فسفات الفسفوريبوزيل، والثاني ثالث فسفات الأدينوزين (ATP)، يدخل في أولهما الريبوز، ويمثل ثانيهما نكليوتيداً (يحوي أيضاً الريبوز وليس الريبوز منزوع الأكسجين)، مرتبطاً بزمرتي فسفات لا عضويتين. إن زمرة الإيميدازول الوظيفية للهيستيدين (التي تؤدي دوراً مهماً في ما يتعلق بإنجاز الوظيفة التحفيزية للبروتينات الأنزيمية)، أدت على ما يبدو دوراً رئيساً في بنية نكليوتيدات البورين لأنزيمات RNA، ARN (موضوع سنوضحه بتبسيط أكبر في الفقرة التالية 5.7).

رابعاً. يتم في الاستقلاب المعاصر اشتقاق النكليوتيدات النووية الريبية منزوعة الأكسجين (التي تشكل بنية الحلزون المزدوج للحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين) بالإرجاع المباشر للنكليوتيدات النووية الريبية، وليس باتباع سبيل تركيبي حيوي مماثل لسبيل التركيب الحيوي للنكليوتيدات النووية الريبية.

خامساً. إن أكثر السبل الكيميائية الحيوية شيوعاً وكفاية (وبخاصة تفاعلات التركيب الحيوي ونقل الطاقة) تستعمل مركبات مشتقة أصلاً من نكليوتيد الأدنين الذي يحوي الريبوز (وليس الريبوز المنزوع الأكسجين). ويأتي في مقدمة هذه المركبات ثنائي نكليوتيد أدنين النيكوتيناميد (NAD)، وثنائي نكليوتيد أدنين الفلافين (FAD) (يرجع إلى البند « ثانياً » من هذه الفقرة).

سادساً. إن حمض التيميديليك المنزوع الكسجين (أو نكليوتيد التيمين الذي يمثل أحد اللبنات الأربع في بناء DNA، ADN)، يشتق من حمض اليوريديليك المنزوع الأكسجين بإدخال زمرة الميتيل (CH_3-) في جزيء الحمض الأخير. وبالنظر إلى أنَّ نكليوتيد اليوريدين يميز RNA، ARN عن DNA، ADN، فإن هذا الاشتقاق يمثل برهاناً إضافياً على بدء الحياة بالحمض النووي الريبي، وليس بالحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين.

سابعاً. إن أهم ما يميز جزيء RNA، ARN هو تمتعه في آن واحد (كما أشرنا سابقاً) بخاصتي الحياة الأساسيتين: النمط الجيني، والنمط الظاهري، أي المقدرة على اختزان المعلومات الجينية والحفاظ عليها لتكوين الأجيال التالية عن طريق التنسخ الذاتي (وهذا هو النمط الجيني)، والمقدرة على التحفيز، أي التمتع بوظيفة محددة تماماً (وهذا هو النمط الظاهري). وبالنظر للتفاوت الذي أبدته جزيئات هذا الحمض في ما يتعلق بسلوكها الكيميائي (كالسرعة في التنسخ)، فإن الجزيئات الأسرع تنسخاً سادت في الوسط (وفقاً للانتقاء الموجه ذي المعنى)، في حين انكفأت الجزيئات الأقل سرعة في تنسخها، وتنحت عن مسرح الحياة. إنه عالم RNA، ARN، حيث يحدث التغير الجيني عن طريق الخطأ الجزيئي، مسبباً وقوع الطفرات، أو التغير في النمط الجيني الذي ينعكس على النمط الظاهري. إنه عالم الحمض النووي الريبي الذي بدأ الحياة بتقانة رفيعة، بُنيت على صورة « حياة » الصلصال ذات التقانة الخفيضة وعلى مثالها. ولا نملك حتى الآن أي فكرة عن مدة الحقبة الزمنية التي ازدهر فيها عالم هذا الحمض، حيث انكفأ بعدها، وتنحى ليسود العالم الحالي عالم DNA، ADN ذو الجزيء الأعقد بنية، والأكثر كفاية من حيث التنسخ، والأصلب عوداً (أصلب جزيء بيولوجي انتجه التطور الموجه ذو المعنى) من حيث مقاومة شروط الوسط المتطرفة، وقد تبلغ هذه الحقبة الزمنية قرابة 500 مليون عام.



الجزيء (ARN ،RNA)، تتمثل بتركيب أساسي البيريميدين (اليوراسيل والسيتوزين). وإذا كان تكاثف الفورم ألدهيد (HCOH) مع حمض السيانيدريك (HCN) يؤدي بسهولة إلى تكون أسس البورين، وإن تفعيل هذين المركبين بالأشعة فوق البنفسجية، وبوجود الفسفات في الوسط، ينتهي بتكون نكليوتيدات البورين (الأدنين والغوانين)، أي ارتباط السكر الخماسي الريبوز من جهة بالأساس العضوي الآزوتي ومن جهة ثانية بزمرة الفسفات؛ فإن حدوث التفاعلات نفسها لتكوين نكليوتيدات البيريميدين ما يزال أمراً جدلياً [43]. وعلى القارئ أن يقترب في تفكيره من مفهوم «جنة عدن» حتى يعتقد أن تركيب هذه الأسس الأربعة (الأدنين والغوانين من البورينات -وأمرها سهل ووأضح-، واليوراسيل والسيتوزين من البيريميدينات -وأمرها أصعب على الرغم من صغر الجزيء، يُرجع إلى الشكل 7 .6)، إن هذا التركيب إذاً كان أمراً محتوماً، ومن ثم ممكناً (يمكن الرجوع للوقوف على تفصيلات معمقة إلى المرجع 43).

أما الصعوبة الثانية (وهي ليست مقتصرة على الحمض النووي الريبي فقط بل تتناول البروتينات، والحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين، وأي جزيء آخر يفترض أنه بدأ الحياة)، فتتمثل بالتنسخ الذاتي الضروري لاختزان المعلومة اللازمة لتكوين الأجيال القادمة، أي النمط الجيني. ولكن يمكن الافتراض أن جزيئاً أبسط من ARN ،RNA، سبقه في الوجود على الأرض البدئية، وعلى صورة هذا الجزيء طليعة الحمض النووي الريبي ومثاله، بُني جزيء ARN ،RNA الذي أتقن سيرورة التنسخ الذاتي، ومن ثم طورها، وذلك بعد أن استعار مبدأها من الجزيء السلفي[(8.7)].

7 .5. عالم الحمض النووي الريبي

يمكننا الآن، وبعدد أقل من الافتراضات، أن نرسم صورة أقرب ما تكون إلى الواقع لنشوء الحياة على الأرض البدئية، مبنية على كثير من النتائج التجريبية والدراسات النظرية والاستنتاجات المنطقية، تؤكد كلها ضرورة حدوث تطور موجهٍ ذي معنى، سار على الدوام من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر كفاية وأداء، ولم يكن للمصادفة

(7 .8) يفترض بالجزيء الذي ستناط به خاصة التنسخ الذاتي، ومن ثم اختزان المعلومات الضرورية لتكوين أجيال المستقبل، أن يحقق الشروط العامة الأربعة التالية:

أولاً. أن يتمتع الجزيء بخصائص تمكنه من اختزان المعلومات، الأمر الذي يستدعي أن يكون هذا الجزيء جزيئاً مركباً من نمط المكوثرات المتغايرة، أي يتألف على الأقل من وُحيدتين تتكون كل منهما من قسيم (أو جزيء) واحد monomeric ،monomèrique.

ثانياً. أن يكون الجزيء المركب قادراً على توجيه التجمع المنظم لوُحيدات القُسيم التي بدأ بها هو نفسه، ليشكل نسخاً إضافية عن ذاته، أي ليستنسخ نفسه.

ثالثاً. أن تكون المواد الاستهلالية أحادية القسيم متاحة بسهولة، على الأقل في موقع ما من الأرض البدئية.

رابعاً. أن تكون المادة الجينية التي نشأت من التكوثر المتغاير للوُحيدتين الأساسيتين على درجة كافية من الثبات بحيث يفوق معدل توالدها معدل تفككها. إذا كان الهدف من جملة بسيطة من هذا النمط ذاتية التنسخ الوصول إلى عالم ARN ،RNA، فلا بد من الانتقال من هذه الجملة ذات التِقانة الخفيضة إلى جملة جينية انتقالية و ذات تِقانة أرفع، تطورت أخيراً لتعطي عالم الحمض النووي الريبي ذا التِقانة الرفيعة. ويمكننا أن نتصور -لتجنب بعض الصعوبات التي تعترض سبيل نشوء عالم ARN ،RNA- البيئة التي سبقت الحياة بأنها مفاعل لمواده صفة الجريان (أي غير ثابتة)، ويعمل بزادٍ مستمر من حمض السيانيدريك(HCN)، والفورم ألدهيد (HCOH)، ومركبات ذات طاقة عالية أخرى[43] ويُبنى على صورة التِقانة الخفيضة لبلورات السيليكات وعلى مثالها -كما سبق أن عرضنا- تِقانة أكثر رفعة، أدّت إلى تشكل جزيء انتقالي شبيه بالحمض النووي الريبي RNA-like، فبنى هذا بدوره التِقانة الرفيعة الخاصة بعالم ARN ،RNA. وربما كان للكداسات الغروانية لعديدات الببتيد الآخذة بالتشكل، وللحويصلات الغشائية ذات التكاثر الذاتي، تأثير عميق على ذلك الانتقال التدريجي من بلورات الصلصال إلى عالم RNA، ARN، مروراً بجزيء شبيه بهذا الحمض.



أي دور في هذا التطور الذي شكل الانتقاء الطبيعي الموجه (نتاج القوى التكافؤية واللاتكافؤية) محركه الأساسي. وتتألف هذه الصورة من العناصر التالية:

أولاً. ولدت الأرض قبل 4.6 مليار عام، ووجدت على مسافة مثلى من الشمس (ثماني دقائق ضوئية تقريباً)، بحيث تتيح للماء أن يبقى سائلاً، وللأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء الواردة من الشمس أن تفعلا فعلهما بتنشيط الجزيئات (عن طريق التكسير بالأشعة فوق البنفسجية، وعن طريق التسخين بالأشعة تحت الحمراء)، لتدخل هذه الجزيئات في عدد كبير جداً من التفاعلات. لقد كان جو الأرض البدئية، وبسبب غياب الأكسجين، ووجود الهدرجين والميتان والأمونياك جواً مرجعاً.

ثانياً. احتاج سطح الأرض كي يتبرد قرابة أربعمئة مليون عام، وظلت الأمطار تهطل على سطحها طوال هذه المدة. وحمل هذا المطر معه قرابة سبعين مركباً من الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات، شكلت (بتأثير الأشعة فوق البنفسجية) الكحولات العطرية (الكينونات والكحولات العادية والإيترات وعدد من الحموض الأمينية ومشتقات البورين؛ أي الأدنين والغوانين خاصة). ويحوي الجدول 1.3 قرابة 56 مركباً، تختلف في معظمها عن المركبات السابقة. ولكن أهم مركبين كان يحويهما الحساء البدئي هما الفورم الدهيد (HCOH)، وحمض السيانيدريك (HCN) شديدا الفاعلية.

ثالثاً. عندما وصل سطح الأرض إلى درجة كافية من التبرد، تجمع الماء على شكل سبخات، كان بعضها يمثل محيطات اليوم وبحاره. كان ماء هذه الأمطار غنياً بالمركبات العضوية المشار إليها آنفاً، وشكل ما يعرف بالحساء البدئي. ولقد تشرب الصلصال (أو السيليكات، أو الغضار) هذا الحساء البدئي، وأضحى مشبعاً به.

رابعاً. تمكن السيليسوم ذو القوى أو الروابط التكافؤية الأربع من تشكيل السيليكات، أو بلورات الصلصال، التي كانت قادرة على النمو (نتيجة الاستقلاب؛ أي إضافة مواد من الوسط الخارجي إلى مادتها)، والانقسام (نتيجة نمو البلورة إلى قَدٍّ معين)، وكانت هذه البلورات قادرة أحياناً على تغيير هيئتها (شكلها الفراغي ثلاثي الأبعاد) بسبب عيوب ميكانيكية (تشكل أثلام في جسم البلورة، أو حدوث انحرافات في تطبق وريقات البلورة)، أو كيميائية (وضع إيونات معدنية معينة مكان إيونات أخرى). وكان نمط توزع شُحن الإيونات على جسم البلورة يضمن تحقق النمط «الجيني»، أي اختزان المعلومات الضرورية لتكوين الأجيال التالية من البلورات. وهكذا قامت «حياة» السيليسيوم (أو السيليكات، أو الصلصال) بهذا النمط من التقنية الخفيضة. إن «حياة» الصلصال ما تزال موجودة بين ظهرانينا، تحدث باستمرار، وستبقى كذلك، ولكنها (على ما يبدو) غير قادرة على التطور.

خامساً. كانت تحدث في عالم بلورات الصلصال سيرورات أخرى. لقد استطاع الفورم ألدهيد (HCOH)، وحمض السيانيدريك (HCN)، وبوجود الفسفات (التي استخرجتها الأمطار من الصخور التي هطلت عليها، وكان بعض هذه الأمطار حمضي التفاعل)، وبتأثير الأشعة فوق البنفسجية المنشطة للتفاعلات، لقد استطاع هذان المركبان إذاً أن يشكلا النكليوتيدات الأربعة نتيجة ارتباط سكر خماسي الكربون، هو الريبوز العادي أو المؤكسد (وليس المنزوع الأكسجين)، بالفسفات من جهة، وبأحد الأسس الآزوتية العضوية الأربعة من جهة أخرى. وهكذا، وبسهولة كبيرة نسبياً، تشكلت أولاً نكليوتيدات البورين (وبخاصة الأدنين والغوانين)، ثم تشكلت، إنما بسهولة أقل، نكليوتيدات



البيريميدين (اليوراسيل والسيتوزين). ويكفي لجملة ما تختزن المعلومات الضرورية لتنسخها الذاتي، أن تتألف من جزيئين من هذه الجزيئات كي تغدو قادرة على النمو بالتكوثر، ويصبح بوسعها في الوقت نفسه أن تشكل مكوثرات متغايرة البنية، وذلك بتتامية مكوناتها مع جزيئات أخرى لها هيئة فراغية ثلاثية الأبعاد متممة لتلك الجزيئات الاستهلالية.

سادساً. لقد كانت هذه المكوثرات المتغايرة موجودة في بيئة بلورات الصلصال. وبالنظر إلى الليونة التي تتصف بها القوى أو الروابط التكافؤية الأربع للكربون، وبسبب إخفاق مركبات السيليسيوم في تشكيل مركبات عطرية (إضافة إلى قساوة القوى، أو الروابط التكافؤية الأربع للسيليسيوم)، فإن بلورات الصلصال شرعت بأخذ بعض هذه المركبات الكربونية (وبخاصة النكليوتيدات). فتبين أن هذه الجزيئات أسلس قيادةً، وأطوع تلاؤميةً، وأسرع نماءً. وما إن حدث ذلك حتى أصبحت أيام «حياة» الصلصال من حيث قابلياتها التطورية معدودة، وأخذت تنكفئ، متنحية أمام عالم الكربون، الذي بدأت جزيئاته (نكليوتيداته: الأدنين والغوانين) بتكوين جزيء شبيه بجزيء الحمض النووي الريبي (RNA-like)، صُنع على صورة بلورات عالم الصلصال وعلى مثالها، إنما بتقانة أرفع. ولقد استطاع هذا الجزيء الانتقالي أن يُحَسِّن تقانته، ويتطور إلى جزيء RNA، ARN ذي التِقانة الرفيعة. ومما ساعد على هذا الانتقال التطوري إستناد الجزيء الشبيه بالحمض النووي الريبي على بلورات الصلصال أولاً (التي استعملت كركيزة لتسهيل حدوث التفاعلات، وتجنب توقفها -تثبيطها- بسبب العكوسية الخفيضة لهذه التفاعلات من جهة، ولعدم تراكم منتجات التفاعل من جهة أخرى)، ثم استعمالها في مرحلة لاحقة كداسات عديدات الببتيد الآخذة بالتكون، وكذلك الحويصلات الغشائية البدئية كنقاط ارتكاز لتجنب توقف هذه التفاعلات، حيث يؤدي وجود نقاط الاستناد هذه إلى سيادة تفاعلات تركيب المواد على تفاعلات تفككها. وهكذا تَكَّونَ جزيء الحمض النووي الريبي الذي يتألف من تسلسل أربعة نكليوتيدات (الأدنين والغوانين والسيتوزين واليوراسيل)، تتميز بخاصتين أساسيتين للحياة: التنسخ الذاتي والتحفيز، أي إنه جمع في جزيئه المتفرد في آن واحد البنية والوظيفة، أو النمط الجيني والنمط الظاهري.

ويمكن لهذا الجزيء أن يطفر باستبدال نكليوتيد بآخر. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى سهولة تكون الحويصلات الغشائية البدئية في الماء بدءاً من محلول الليبيدات (الشحوم)، والفسفورية منها خاصة. فكما تتشكل قطيرات الزيت في الماء لدى خض الزيت في الماء، كذلك تتشكل الجُسيمات الشحمية (الليبوزومات liposomes)، التي هي حويصلات كروية متفاوتة الأقطار (من بضعة أجزاء من مليار من المتر إلى عشرات الأجزاء من مليون من المتر). وتتألف كل كرة من غشاء ثنائي الطبقة (تماماً كغشاء الخلية الحية)، تحوي في جوفها جزءاً من السائل الذي كانت موجودة فيه أصلاً. وبالنظر إلى سهولة تحضيرها، فإن هذه الجُسيمات الشحمية (الليبوزومات) تستعمل لأغراض شتى كأدوات إيصال لمواد دوائية أو سمية [يمكن الرجوع، للوقوف على تفصيل موسع لهذا الموضوع، إلى المقالة الموسومة بالعنوان «الليبوزومات - الجُسيمات الشحمية- Liposomes»، تأليف Ostro. J. M، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **5** العدد **4**، أكتوبر (تشرين الأول) (1988)، الصفحات 27-38]. إن موضوع تشكل الأغشية البدئية لم تطرح إذاً مشكلة تطورية معقدة، ومن ثم فهي لاتستدعي معالجة خاصة.

وأخيراً، وقبل أن ندخل في تفاصيل عالم الحمض النووي الريبي، لا بد من الإشارة إلى البروتينات (أو عديديات



الببتيد) التي تكونت نتيجة تكوثر الحموض الأمينية الأولى التي كانت موجودة في الحساء البدئي، ولكنها لم تتمكن، على ما يبدو، وعلى الرغم من تمتعها بخاصة التحفيز، من دعم نشوء الحياة، أولاً بسبب تنوعها (أو تغايرها) الشديد من جهة، ولعدم مقدرتها على التنسخ الذاتي وهشاشة جزيئاتها من جهة أخرى. ومع هذا، يمكن القول إن عديديات الببتيد هذه ساعدت على زيادة كفاءة الحمض النووي الريبي في أدائه لبعض وظائفه من ناحية، ولاستعمال كداساتها كنقاط ارتكاز في تفاعلات تطور هذا الجزيء من ناحية أخرى. أضف إلى ذلك أن هذه الببتيدات دخلت في بنى معينة، جنباً إلى جنب مع RNA، ARN -كما سنعرض بعد قليل-، فعززت وظائف هذا الحمض، كما دخلت في بنية الأغشية البدئية الليبيدية الفسفورية (التي أشرنا إليها منذ قليل)، فمنحت هذه الأغشية وظائف بيولوجية مهمة جداً (علاقة وسط الخلية الخارجي بوسطها الداخلي، وعملها كمستقبلات في بنية هذا الغشاء، موضوع سنعرض له في الفصل التالي).
بناء على ذلك، يمكن القول أن نشوء البروتينات تلى مباشرة نشوء عالم RNA، ARN.

ومع أنه ليس بوسعنا حالياً أن نحدد المدة الزمنية التي استغرقها وجود عالم RNA، ARN قبل أن يتنحى جزئياً ليفسح المكان لعالم DNA، ADN (ذي التقنية الأكثر رفعة)، فإنه بالإمكان أن نوجز ما تبقى من عالم الحمض النووي الريبي وما تطور إليه بالحقائق التالية [48]:

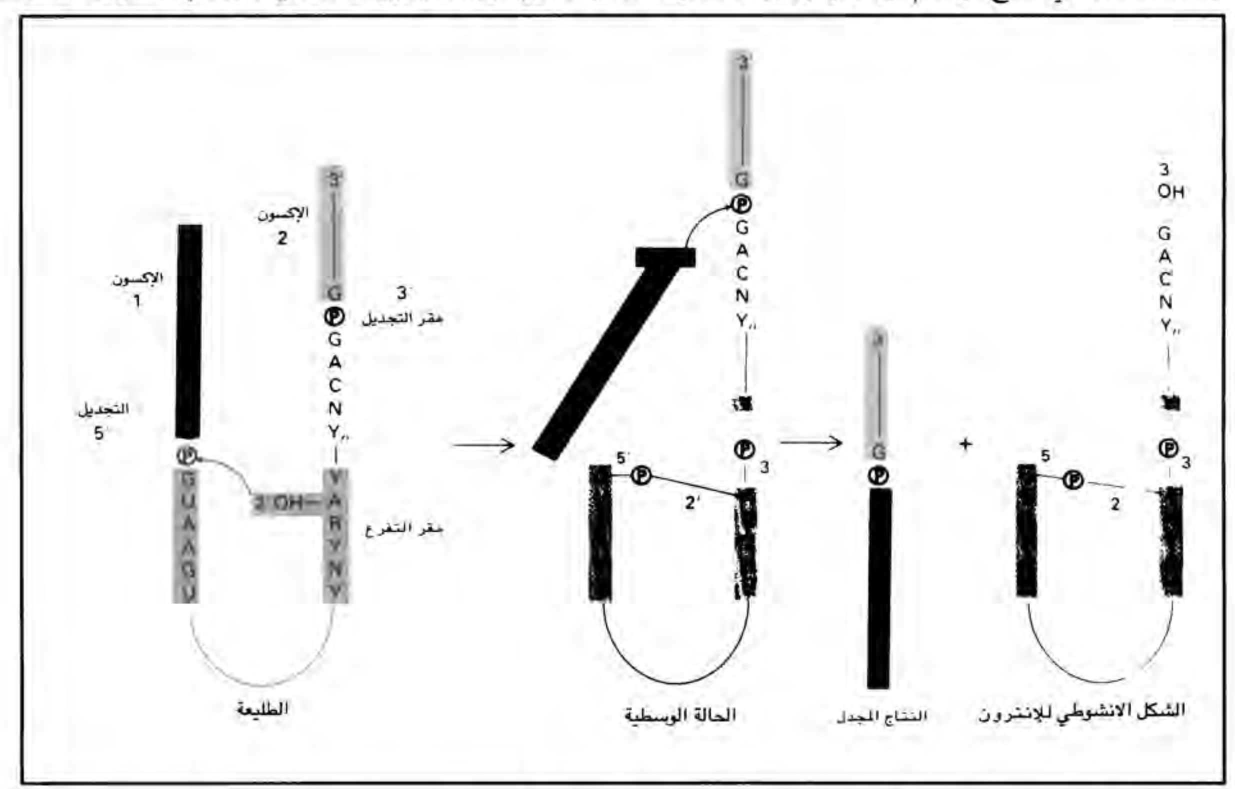
أولاً. من المعلوم أن جزيء RNA، ARN في عالمنا الحالي (عالم الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين والبروتينات) يوجد على ثلاثة أشكال [(9.7)]، تتوسط تحويل النمط الجيني (المختزن في جيناتنا) إلى النمط الظاهري (أي بنية أجسامنا وخصائصها). وإن دل هذا على شيء، فإنما يدل على رسوخ هذا الجزيء في عملية التطور الموجه ذي المعنى. ذلك أن سيادة عالم DNA، ADN الحالي لم تقو على إلغاء دور RNA، ARN كلياً، كما حدث أن ألغى هذا الأخير الإمكان المحتمل لتطورعالم بلورات الصلصال. لقد أدّى تطور هذا الحمض إلى تكوينه لجزيء DNA، ADN،

(9.7) كما سبق أن عرضنا في الحاشية 7.6 فإن الحمض النووي الريبي يوجد في عالمنا الحالي (عالم الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين، وعالم البروتينات) على ثلاثة أشكال، مهمتها الأساسية تحويل النمط الجيني (الرموز غير الظاهرة) إلى النمط الظاهري (بنية الجسم ووظائفه). وهذه الأشكال هي التالية:

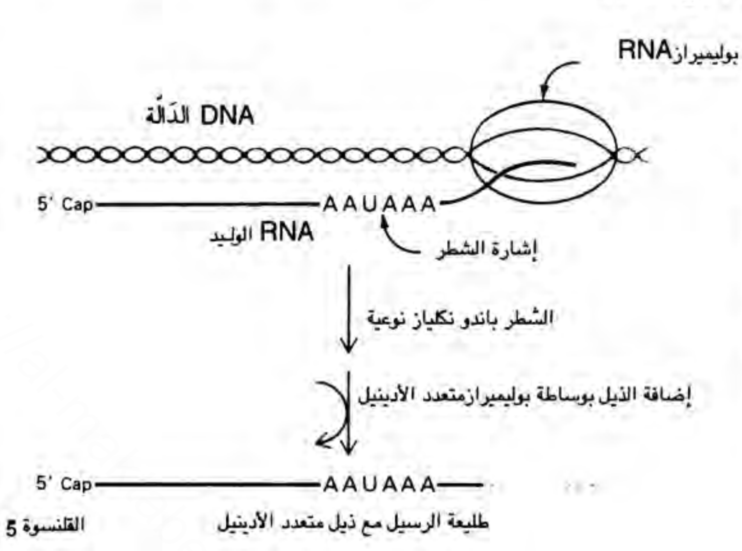
أولاً. الحمض النووي الريبي الرسيل mRNA، ARNm (أو تبسيطاً الرسيل): ويتألف من تسلسلات من النكليوتيدات الأربعة: الأدنين والغوانين والسيتوزين واليوراسيل، تتمم نكليوتيدات الجين الذي أُنتسخ عنه (حيث ينتسخ مقابل التيمين في الجين الأدنين في الرسيل، ومقابل الأدنين اليوراسيل، ومقابل السيتوزين الغوانين، ومقابل الغوانين السيتوزين (أي يحل اليوراسيل في الرسيل عوضاً عن التيمين في الجين). بناءً على ذلك، يمكن اعتبار الرسيل جزءاً من النمط الجيني (مما يدل على أصالة عالم RNA، ARN واشتقاقية عالم DNA، ADN بدءاً منه). ويوجد نظرياً في خلايا جسمنا أنواع من الرسل يساوي عددها عدد البروتينات (النمط الظاهر)، أي مابين 300 و400 ألف نوع. وكما سنرى في الفقرة التالية 7.6 فإن عدد جيناتنا المسؤولة تقريباً عن كل شيء في أجسامنا، وعن قسم من سلوكنا، يبلغ قرابة 30 ألف جين فقط، ولكن لا تعبر كلها عن نفسها (أي تعمل على تركيب بروتين معين) في الخلية الواحدة المنتمية إلى نمط خلوي معين، بل يوجد في الخلية الواحدة من جسمنا قرابة 20 ألف نوع من البروتين. ينتسخ RNA، ARN إذاً عن الجين (الذي يشكل جزءاً من صبغيات حقيقيات النواة). ويقوم بانتساخ هذا الحمض أنزيم؛ هو بوليميراز mRNA، ARNm رقم II. ولقد تم مؤخراً عزل هذا الأنزيم، وعرف شكله الغراغي ثلاثي الأبعاد بتقنية انعراج الأشعة السينية، وتبين أنه يتألف من 12 وُحيدة بروتينية (أو سلسلة ببتيدية)، ويشكل مايشبه النفق، يتوضع فيه جزئ DNA، AND. وتبلغ كتلته الجزيئية النسبية (أو الوزن الجزيئي) نصف مليون دالتون. وبالنظر إلى ضخامة هذا الجزيء الأنزيمي، فلقد أطلق عليه اسم «سيد الأنزيمات» [انظر الشكل 8.7 -جـ من المرجع: Cramer, P. et al., Scienee **288**. 640-649 (2000)]. ويعاني الرسيل وهو لا يزال في النواة ثلاثة أنماط من السيرورات: **1. التجديل** splicing (أي عمليتي القطع والوصل). ذلك أن الرسيل يتألف من نوعين من التسلسلات: ←



←الإكسونات exons (من التعبير express) التي ترمّز الحموض الأمينية، كما سنرى، والأنترونات introns (من التسلسلات التداخلية intervening)، التي تنتسخ عن قسم غير مرمّز من الجين (الشكل 7 . 8). والتجديل هو إزالة الإنترونات (لتنحل)، ووصل الإكسونات بعضها←



الشكل 7 . 8ـ أ. مخطط ترسيمي يمثل آلية التجديل لطليعة أحد أنواع الرسيل التي تحدث في نواة حقيقيات النوى. لقد تم تمثيل الإكسون الأول 5َ (صُعداً) بالأحمر، والإكسون الثاني 3َ (نُزلاً) بالأخضر، ومقر التفرع بالأصفر. يرمز الحرف Y في أشرطة التسلسلات إلى نكليوتيد البورين (أدنين أو غوانين)، والحرف R إلى نكليوتيد البيرميدين (تيمين أو سيتوزين)، و N إلى أي من هذه النكليوتيدات الأربعة. إن مقر التجديل 5َ (صُعداً) يرتبط بالزمرة 2-OH لمقر تفرع الأدينوزين. تتم مهاجمة مقر التجديل 3َ (نُزلاً) من قبل الزمرة 3-OH للإكسون الأول التي تشكلت للتو. يجري عندئذ ربط الإكسون الأول بالإكسون الثاني، ويتحرر الإنترون (الذي يأخذ شكل خيط أنشوطي lariat) ليتحلل داخل النواة (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 862).



الشكل 7 . 8 ـ ب. مخطط ترسيمي لانتساخ RNA، ARN من الجين الخاص به، ولإضافة القلنسوة في النهاية 5َ (صُعداً) وذيل عديد الأدينيل (بوساطة بوليميراز عديد الأدنيل) في النهاية 3َ (نُزلاً). كما يتم شطر جزيء هذا الحمض بوساطة أحد أنزيمات الاندونكلياز النوعية. وكما يتضح من الشكل، فإن التسلسل AAUAAA يشكل إشارة تعرف الأنزيم مقرَ ارتباطه لينجز عملية الشطر (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 859).



الشكل 7. 8 - جـ. البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية للبوليراز ARNm , mRNA (II) في منظرين جانبي (العلوي) وجبهي (السفلي)، يتألف هذا المعقد الجزيئي من 12 جزيئاً بروتينياً، ويعتبر سيد الجزيئات، لاحظ كيف يتوضع حلزون «واتسون - كريك» في بنية تشبه النفق، حيث يتم انتساخ ARNm, mRNA عن [Cramer, P. et al. Scienee **288**. 640-649 (2000) ، غلاف هذا العدد من مجلة Scienee].

←ببعض. وتتم عمليتا الإزالة والوصل التحفيزيتين بوساطة تسلسلات قصيرة من RNA، ARN، محمولة على جسيم بروتيني (لا علاقة له بعمليتي التحفيز). ويطلق على المجموع اسم الريبوزيم ribozyme (من RNA، ARN وأنزيم enzyme)، أو جسيم التجديل splicosome. فالإكسونات تمثل إذاً النمط الجيني (أو البنية) للحمض النووي الريبي، في حين أن الريبوزيم أو جسيم التجديل يمثل (بتسلسلاته القصيرة من RNA، ARN والتي تقوم بعمليتي التحفيز (القطع والوصل)) النمط الظاهري (أو الوظيفة). ومع أن جينوم الإنسان يحوي قرابة 32 ألف جين للتعبير (وتمثل النمط الجيني)، وفي حين أن هذه الجينات تُستنسخ على شكل عشرات آلاف الرسل، فإن عدد الإكسونات (تسلسلات الترميز، أو التسلسلات المعبر عنها) في الطبيعة لا يتجـاوز سبعة آلاف إكسون، تجدل بتنوعات تجعل أعداد أنواع الرسل يصل إلى عشرات الآلاف، وذلك وفقاً←



←للفيزيائي، ومن ثم الكيميائي الحيوي الأمريكي «ولتر جيلبرت[50]» Walter Gilbert (1932 الذي نال الدكتوراه في الفيزياء من مختبر كافنديش بكمبردج، حيث كان يدرس على الفيزيائي الباكستاني « محمد عبد السلام »، ثم انتقل إلى الطب والبيولوجيا، وابتكر التقنية المعروفة بتقنية «ماكسام-جيلبرت» لسلسلة DNA، ADN، ومنح جائزة نوبل عام 1966). ولتخفيف العبء الجيني، ومن ثم تقليل أعداد الطفرات المؤذية بإنقاص عدد الجينات المعبر عنها، يمكن تجديل رسيل معين بأكثر من شـكل، ومن ثم الحصول على أكثر من بروتين واحد بدءاً من جين معين. كما يمكن الوصول إلى هذا التخفيض بسيرورة تعرف بإعادة تراتب الجينات، حيث يتم تركيب مليارات أنواع البروتينات بدءاً من مئات الجينات، وذلك كما يحدث في تشكيل جزيئات الأضداد في اللمفاويات البائية، وتشكيل مستقبلات اللمفاويات التائية (يُرجع إلى الفصل السادس من كتاب « مقدمة في علم المناعة الجزيئي »، للمؤلف، مطبوعات جامعة دمشق، 1992). **2. التقلنس** capping (تشكيل القلنسوة)، وهي السـيرورة الثانية في نضج الرسيل، وتتم في النواة أيضاً بإضافة 7 ميتيل الغوانين إلى النهاية 5 (خمسة رئيسة) من جزيء الرسيل. **3. التذييل**، أو إضافة ذيل عديد الأدنيل (poly A) إلى النهاية 3 من جزيء الرسيل (يُرجع إلى الشكل 7 .8). ويبلغ عدد نكليوتيدات الأدنيل المضافة قرابة 250 نكليوتيداً. إن هذا الذيل من عديد الأدنيل يميز الرسيل عن شكلي الحمضين الريبيين الآخرين (الناقل tRNA، ARNt، والريبوزومي rRNA، ARNr) اللذين لا يحويان هذا الذيل، ويستفاد من وجود هذا الذيل في سَلسَلة ADN،DNA حيث تأتي قبله مباشرة واسمات التسلسلات المعبر عنها (EST)، التي سنشير إليها في الحاشيتين (1.9) و (2.9). عند انتهاء سيرورات التجديل والتقلنس والتذييل (التي تتم في النواة بسرعة)، يصبح الرسيل محمياً من فعل الأنزيم المقوض له (الريبونكلياز)، وينقل إلى السيتوبلازما عبر مسام الغشاء النووي ليترجم (لتقرأ الرسالة) عن طريق تركيب البروتين المرمَّز في الرسالة. هذا، ويبين الجدول 7 .1 الراموز(الكود) الجيني لحقيقيات النواة كافة. وتبلغ نسبة الرسيل قرابة 7 في المئة تقريباً من مجموع RNA، ARN في الخلية البشرية، وأعطي الرقم الروماني II (هو وأنزيماته وعوامل انتساخه) بسبب غزارته النسبية في الخلية، وتأتي هذه الغزارة بعد الريبوزومي، أو rRNA، ARNr، الذي أُعطي الرقم I، حيث تصل غزارته في الخلية إلى 90% تقريباً، وقبل الناقل، tRNA، ARNt، الذي أُعطي الرقم III، (حيث تصل غزارته إلى مايقرب من 3%).

الجدول 7 .1. الراموز (الكود) الجيني (عن Stryer,1995 المرجع 30، ص 109).

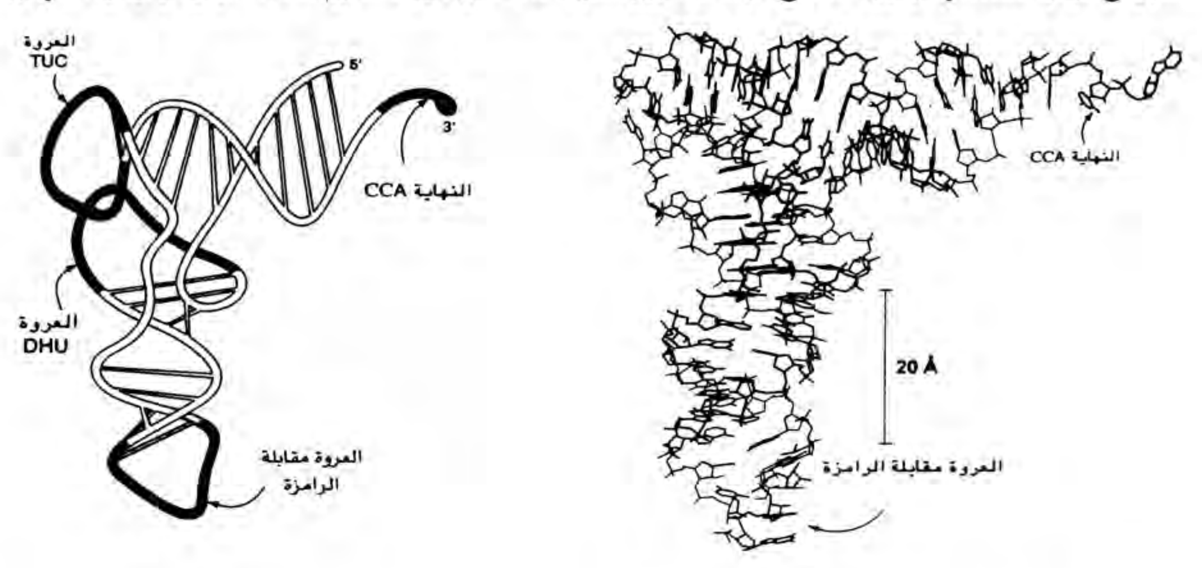
الموضع الأول (النهاية 5´)	الموضع الثاني U	C	A	G	الموضع الثالث (النهاية 3´)
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	■	■	A
	Leu	Ser	■	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	■	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

← 50. Gilbert, W., Nature 319, 618 (1986).



مؤتمناً إياه على النمط الجيني (أي على بنيته). كما استطاع ARN ،RNA أن يفيد من وجود البروتينات ليأتمنها على معظم الوظائف التي كانت موكلة إليه (أي النمط الظاهري لعالم ARN ،RNA). فعالما AND ،DNA، والبروتينات الحالي نجماً عن عملية تطورية (ضرورية ومقصودة كما سنرى)، تخلى فيها ARN ،RNA عن مسؤوليتيه اللتين كان يقوم بهما معاً وفي آن واحد (اختزان المعلومات الضرورية لتكوين الأجيال القادمة أو النمط الجيني متمثلاً ببنيته، وعملية التحفيز أوالنمط الظاهري متمثلاً بوظيفته)، تخلى عنهما إذاً ليسندهما إلى جزيئين أكثر تعقيداً من حيث البنية، وأفضل أداءً من حيث الوظيفة، وأصلب عوداً (في ما يتعلق بـ ADN ،DNA فقط) على مواجهة العوامل الطبيعية. ذلك أن جزيء ADN ،DNA اؤتمن على النمط الجيني الضروري لصون النوع «الحياة».

←ثانياً. الحمض النووي الريبي الناقل ARNt ،tRNA، وهو جزيء ذو تسلسل قصير من النكليوتيدات (75 نكليوتيداً)، له شكل ورقة البرسيم (الشكل 9.7)، حيث ينثني الفص الأيسر، فيأخذ الجزيء فراغياً هيئة حرف L مقلوب. وتنتهي الشريطة اليمنى من معلاق ورقة البرسيم بثلاثة نكليوتيدات (هي سيتوزين سيتوزين أدنين CCA). أما قاعدة الفص المتوسط للورقة فتحوي الثلاثية triplet مقابلة الرامزة anticodon التي تتطابق مع الرامزة codon في الرسيل. أما ذراع حرف L الطويل المقلوب فمخصص لارتباط الأنزيم tRNA سنتيتاز (أوسيتاز)، التي تربط←



الشكل 9.7. مخطط ترسيمي للبنية ثلاثية الأبعاد للحمض النووي الريبي الناقل للفينيل آلانين في الخميرة الجعوية. لاحظ النهاية CCA حيث ترتبط ثمالة الحمض الأميني، والعروة مقابلة الرامزة (الكودون)، وعروة ديهدرويوريدين DHU، وعروة الريبوتيمين - اليوراسيل الكاذب - السيتوزين (T بسودو يو C) التي تنثني لتنطبق تقريباً على عروة الديهدرويوريدين، فيأخذ الجزيء شكل حرف L مقلوباً رأساً على عقب. تشير الروابط السُلَّمية إلى تشافع الأسس لتحقق طراز «واتسون - كريك» مزدوج الشريطة ولكن غير التام بسبب تنافر شحنة الأكسجين السلبية في الكربون 2' (OH^-) للريبوز وشحنة الفسفات (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 878).

←الناقل بالحمض الأميني. ولقد أمكن البرهان على أن بوسع بعض الكيميائيات المسرطنة أن تحدث السرطان عن طريق ارتباطها بالفص الأيسر من ورقة البرسيم (أو ما يعرف بعروة ثنائي الهدرويوريدين)[51]. ويبلغ عدد أنواع الناقل 61 نوعاً (أي أنواع الثلاثيات التي يمكن تكوينها بدءاً من أربعة نكليوتيدات مقابلات الروامز أي $4^3 = 64$ مقابل رامزة، ولكن توجد ثلاث روامز ليس لها مقابل رامزة، وتعمل كإشارات لإيقاف الانتساخ، وهي الثلاثيات: UAA، وUAG، وUGA. كما أن رامزة الحمض الأميني الميتونين (AUG)، تعمل كرامزة لاستهلال الانتساخ (يُرجع إلى الجدول 1.7). وتبلغ نسبة الناقل قرابة 3 في المئة من مجموع ARN ،RNA في الخلية البشرية. ←

51. Massouh-Rizk, L. et "al.,"**Proceedings of the European Society of Toxicology**", Vol. XVII, "**The Prediction of Chronic Toxicity from Short Term Studies**", Pp. 419-431, Excerpta Medica / American Elsevier, Amsterdam (1976).



←ثالثاً. الحمض النووي الريبوزومي rRNA، ARNr: توجد من هذا الحمض ثلاثة أنواع، وتختلف عن كل من الرسيل والناقل بأن هذا الحمض أفاد من وجود البروتينات، فارتبط بها وشكل حبيبتي الريبوزوم الكبيرة (50S) والصغيرة (30S) (الشكل 7 . 10). وتتألف الحبيبة الصغيرة (30S) من الحمض الريبوزومي 18 S و21 نوعاً من البروتين، أعطيت الرموز من S1 حتى S21 (إن الحرف S هنا أتى من الكلمة الإنكليزية small، أي صغير). (أما الحرف S في 50 مثلاً، فهي عامل التثفل sedimentation، sédimentation، ويتناسب طرداً مع حجم الجسم الذي ينبذ، ووزنه-كثافته. وS هذه من اسم الباحث السويدي « سفيدبرغ » Svedberg الذي أوجد هذه العلاقة بين كثافة الجسم وسرعة تثفله). أما الحبيبة الكبيرة S 50، فتتألف من حمضين ريبوزوميين هما 5 S و 28 S و34 نوعاً من البروتين، أعطيت الرموز من L1 حتى L34 (إن الحرف L هنا أتى من الكلمة الإنكليزية large، أي كبير). وكما كنا عرضنا في الحاشية 7 . 6، فإن الحبيبة الكبيرة تحوي مقرين: هما A (من تعبير حمض أميني باللاتينية) لربط الحمض الأميني بالحبيبة نفسها، والمقر P (من تعبير الرابطة الببتيدية باللاتينية) حيث تتشكل الرابطة الببتيدية بين الحمض الأميني السابق والحمض الأميني الذي يتلوه. وتُعَدُّ الجينات المرمزة لحموض الريبوزومات وبروتيناتها، أو الريبوزيمات وبروتيناتها أشد الجينات محافظة من الناحية التطورية، فهي نفسها تقريباً من الإشريكية القولونية إلى الثدييات. وكما كنا ذكرنا، فإن الرسيلَ نوعيٌ برموزه المنتسخة عن الجين، والناقل نوعي بمقابل الرامزة التي يحملها [(يوجد لبعض الحموض الأمينية أكثر من ناقل واحد، وأحياناً ستة نواقل: وهذا ما يفسر وجود 61 ناقلاً لعشرين حمضاً أمينياً، وهذا ما يسميه بعض الباحثين أحياناً « تنكس » الراموز (الكود) الجيني الذي بدأ بعشرين مقابل رامزة، أي مقابل رامزة واحدة لكل حمض أميني، ثم تزايد العدد ليصبح 61 . وأرى شخصياً أن زيادة عدد الروامز يدخل ضمن سيرورات زيادة النوعية من الأبسط إلى الأعقد (من حيث البنية)، ومن الأقل إلى الأعلى كفاية وأداء (من حيث الوظيفة)]. أما الريبوزوم، أو الريبوزيم، فهو غير نوعي الوظيفة، ويمكن لريبوزومات بيضة الضفدع مثلاً أن تترجم رسيل هيموغلوبين الأرنب. ويمكن النظر إلى الريبوزوم من حيث البنية (إفادة الحموض الريبوزومية الثلاثة من وجود البروتينات بارتباط الحموض الثلاثة بهذه البروتينات) على أنه خط تطوري موجه، يمتلك وظيفة تحفيزية (حيث يساعد أنزيم السنتيتاز للناقل على ربط الناقل بالحمض الأميني)، وتؤدي فيه البروتينات دوراً تنظيمياً بنيوياً (وليس وظيفياً -تحفيزياً-)، انتقل بشكل أو بآخر إلى الصبغيات (التي تتألف من ارتباط DNA، ADN بخمسة أنواع ثابتة من البروتينات قلوية التفاعل هي الهستونات الخمسة)، وبأنواع كثيرة من البروتينات التنظيمية وعوامل الانتساخ التي تتغير من نمط خلوي لآخر. يمكن الرجوع إلى معالجة مبسطة لموضوع هذه الحاشية باللغة العربية إلى الفصل السادس من كتاب «مقدمة في علم الخلية وعلم الجنين»، للمؤلف، مطبوعات جامعة دمشق 1978 وإلى المرجع 30 من أجل تفصيلات معمقة وحديثة باللغة الإنكليزية. وتبلغ نسبة الحموض النووية الريبوزومية في الخلية البشرية قرابة 90 في المئة من مجموع RNA، ARN .



الوحيدة 30S

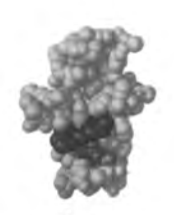


الوحيدة 50S



الريبوزوم (الريبوزيم) 70S

الشكل 7 . 10 ـ أ . طبوغرافية السطح للمقرات الوظيفية للوُحَّيدات S 30 و S 50 للريبوزوم ولكامل هذا الجُسَيم؛ أي S 70 (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 891)



ثانياً. يمكن اعتبار الفيروسات المغايرة retrovirus، rétrovirus، التي تتكون جينوماتها (ذخيرتها الوراثية) من RNA، ARN (وذلك خلافاً لجينومات الكائنات الحية كافةً، ولذلك دعيت مغايرة)، كفيروس عوز المناعة المكتسب البشري (HIV-1 و HIV-2) الذي يسبب هذا المرض (أو الإيدز، أو السيدا)، وفيروس فسيفساء التبغ الذي يسبب البقع العاتمة على ورق التبغ، وفيروسات عديدة أخرى، وكذلك الريبوزومات أو الريبوزيمات (يُرجع إلى الحاشية 7 . 9)، والتيلوميراتtelomers، télomeres (القسيمات الانتهائية) التي تغلق نهايتي كل صبغي من الصبغيات، والحمض النووي الريبي الناقل بسبب فاعليته التحفيزية لدى ارتباطه بسنتيتاز tRNA، ARNt (يُرجع أيضاً إلى الحاشية 7 . 9)، وأيضاً تميمي العاملين NAD و FAD (يُرجع إلى الحاشية 5 . 3 والشكل 5 . 7)، يمكن اعتبار هذه البنى والجزيئات كلها شواهد قبور عالم RNA، ARN .

الشكل 7 . 10 ـ ب . تمثيل البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية للوُحيدة الكبيرة للريبوزوم (الريبوزيم)، ينظر إلى المقر الفعال في أربعة مناظر، يظهر ARN, RNA (اتجاه حركة عقارب الساعة) بالبرتقالي والأبيض، والبروتينات (أكثر من 30) بالأزرق والأصفر [غلاف مجلة Science عن (2000) Ban, N. et al., Seinee **289**,905-920] .



ثالثاً. يمكن في المختبر تحضير أنواع من الريبوزيمات، تقوم بتفاعلات الاستقلاب كافة (إن كلمة ريبوزيم مشتقة كما سبق أن أشرنا من ريبو إشارة إلى RNA، ARN وأنزيم إشارة إلى الفعل التحفيزي). إذ يمكن الحصول تجريبياً على ريبوزيمات تحفز التفاعلات التالية:

1. تشكيل الرابطة الببتيدية التي تربط حمضين أمينين بعضهما ببعض، وهذا مايحدث في الموقع P من الحبيبة الكبيرة للريبوزوم أو الريبوزيم.

2. حلمهة هذه الرابطة (أي فصم الرابطة الببتيدية بوجود الماء، وأصل كلمة حلمهة من «تحلل الماء» hydrolysis، أو تبسيطاً الحل بالماء).

3. تشكيل رابطة تكافؤية بين نكليوتيدين، أي تعمل كأنزيم الليغاز ligase، وتعرف عندئذ بالريبوليغاز.

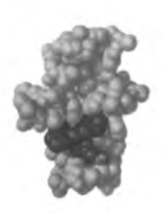
4. تفاعلات الأكسدة بنزع الهدرجين، أي ريبوديهدروجيناز.

5. إنجاز تفاعل ربط زمرة الفسفات بالمركبات العضوية، أي ريبوكيناز. وإنجاز تفاعل الأكسدة؛ أي ريبوأكسيداز.

6. إنجاز تفاعل نقل زمرة الميتيل ($-CH_3$)، أو ريبوميتيل ترانسفيراز.

7. إنجاز تفاعلات التكوثر متساوي القُسيم؛ أي ريبوإيزوميراز...

الشكل 7 . 10 ـ جـ. (شرح الشكل في الصفحة التالية)



الشكل 7.10 ـ جـ. تمثيل البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية للوُحَيدة الكبيرة للريبوزوم (الريبوزيم)، ترى من الأعلى. تظهر البروتينات بالقرمزي، وARNr, RNA-23S بالبرتقالي، وARNr , rRNA-5S في القمة بالخمري (البرغندي) والأبيض، والمقر A (مقر ربط الحمض الأميني) بالأخضر، والمقر P (مقر تشكل الرابطة الببتيدية) بالأحمر. يمثل القسم الأيمن السفلي من الشكل آلية نقل الببتيديل، التي يحفزها ARNt,tRNA. إن الأدنين 2451 فيARNr , rRNA 23S، يصبح (بسبب بيئته الصغرية داخل بنيته المثناة) قلوياً (أساسياً، قاعدياً)، على نحو غير عادي، فيستخلص البروتون، منجزاً تشكل الرابطة الببتيدية، وينفصل (كما يوضح التفاعل) ARNt , tRNA عن المعقد. فليس الريبوزوم في الواقع سوى ريبوزيم [عن Cech, T., R Science **289**. 878-879 (2000)].

الشكل 7-10- جـ. آلة تركيب البروتين: الريبوزم (الأخضر) يقرأ الرسيل ARNm, mRNA (الأرجواني)، ليركب الجزيء الببتيدي (السلسلة الذهبية التي تؤلف كل حلقة منها حمضاً أمينياً)، إن هذه الآلة النانوية هي أكبر حجماً من المحرك الدوراني الممثل بالشكل 5 .4 -ب، ولكنها تبقى من أصغر الآلات التي صممها التطور الموجه ذو المعنى[عن M.G. وايتساسدس، «مجلة العلوم»، الكويت، المجلد **18**، العددان **9/ 10** سبتمبر/ أكتوبر (أيلول - تشرين الأول) 56-61، ص60، (2002)].



رابعاً. كما سبق أن عرضنا، فإن لمعقد الحمضين الريبوزومي والناقل (لدى ترابطهما لتشكيل الرابطة الببتيدية في أثناء تركيب البروتينات) فاعلية تحفيزية (أي يحفز على تكوين تلك الرابطة).

خامساً. هنالك مجموعة من الإنترونات (يُرجع إلى الحاشية 7 .9) تعرف بالمجموعة رقم I، تستطيع أن تُجَدِّلَ نفسها بنفسها، كما أن بوسعها شطر جزيء DNA، ADN.

يمكن الاستنتاج مما سبق أن عالم RNA، ARN (ممثلاً بالريبوزيمات) كان متنوعاً جداً، و يشتمل على جزيئات من هذا الحمض نفسه قادرة على إنجاز جميع التفاعلات التي يتطلبها الاستقلاب والنمو والانقسام (التكاثر) والتغير (عن طريق حدوث الطفرات). كما أن هذا العالم كان يمتلك آلية التنسخ الذاتي لتكوين الأجيال القادمة. وبكلمة أخرى؛ كان الجزيء يشتمل في آن واحد على النمط الجيني والنمط الظاهري. ونرتاب كثيراً في أن عالم RNA، ARN قد تطور ليعطي أكثر من خلايا بدئية أحادية الخلية، ذلك أنه لم تكتشف حتى الآن كائنات حية احفورية (مستحاثية) عديدة الخلايا، تنتمي إلى عالم هذا الحمض.

وتجدر الإشارة أخيراً (وبتبسيط شديد) إلى سيرورة تكوّن الراموز (الكود) الجيني genetic code، code gènetique. فكما ذكرنا غير مرة، فإن هذا الراموز يتألف من الروامز codons، codones، التي يبلغ عددها 61 رامزة، تتكون كل رامزة منها من ثلاثة نكليوتيدات من النكليوتيدات الأربعة، وهي: الأدنين (A) adenine والغوانين guanine (G)والسيتوزين (C) cytosine والتيمين (T) thymine في DNA، ADN أواليوراسيل (U) عوضاً عن التيمين في RNA، ARN. ويمكن لهذه النكليوتيدات ذات الأنماط الأربعة أن تشكل 64 مجموعة (رامزة)، تتكون كل مجموعة منها من ثلاثة نكليوتيدات (أي $4^3 = 64$). وسميت كل واحدة منها برامزة لأنها جزء من النمط الجيني الذي لا يظهر للعيان من جهة، ولأنها تشكل أداة لوضع الحمض الأميني في سلسلة البروتين عند تشكلها (يُرجع إلى الحاشية 7 .9).

وكما ذكرنا غير مرة، فإن البروتينات (التي تشكل بنى أجسامنا ووظائفها) تمثل النمط الظاهري. أي إن النمط الظاهري مرمّز في النمط الجيني. ومع أن هنالك إمكاناً لتشكيل 64 رامزة، فلا يوجد في الكائنات الحية كافة سوى 61 رامزة، ذلك أن ثلاثة من هذه الثلاثيات (يُرجع إلى الجدول 7 .1) تعمل كإشارات لإنهاء الانتساخ، وهي الثلاثيات AGA.UAG.UAA . وكما أن الرامزة AUG تعمل كرامزة لاستهلال الانتساخ (للحمض الأميني فورميل الميتيونين). وعلى الرغم من أنه لا يوجد في الطبيعة سوى عشرين حمضاً أمينياً، وكان يكفي وجود عشرين رامزة فقط (واحدة لكل حمض)، إلا أن التطور الموجه من الأبسط إلى الأعقد، ومن الأقل إلى الأكثر كفاية وأداء، أدّى (كما نعتقد) إلى استعمال كامل الإمكان المتوافر (خلافاً للرأي الشائع والقائل إنّ استعمال 61 رامزة نجم عن تنكس، أو تحلل الراموز أو الكود الجيني). وبالنظر إلى عدم إدراك حقيقة السيرورة الجزيئية لنشوء الراموز الجيني (بسبب عدم كفاية الاستقراءات التجريبية المتاحة، أو تناقض بعضها مع بعض)، فقد درج بعض الباحثين على القول إنّ الراموز الجيني (الوراثي) يمثل في تاريخ البيولوجيا «مصادفة حدثت في الزمن السحيق ثم تجمدت». ولكن إذا قارنا بنى جزيئات عالم RNA، ARN ذات التنوع الواسع ببنى جزيئات الحموض الأمينية (10.7)، فإننا سنستنتج أنه ليس من المستحيل أن يكون عالم RNA، ARN قد اشتمل على طلائع بدايات هذا الراموز، أو الكود الجيني.

(7 .10) إذا قارنا صيغة جزيء الغوانوزين (أي أساس الغوانين مرتبطاً بالريبوز) بجزيء الحمض الأميني الأرجينين (الشكل 7 .11) [48] فسنلمس تشابهاً واضحاً (من حيث البنية والتوجيه) بين جُزء جزيء الغوانورين (الجزء البعيد عن الريبوز، الأيمن في الشكل) وزمرة الغوانيدنين (الجزء الأيمن في الشكل أيضاً)، وكذلك هي الحال في ما يتعلق بالحمض الأميني الهستيدين (يُرجع إلى البند ثالثاً من الحاشية 7 .7). ←



7 . 6. عالم الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين

يمكن اعتبار اكتشاف بنية DNA ، ADN عام 1953 من قبل « جيمس ديوي واتسون » James Dewey Watson (1928-)، و« فرنسيس هاري كومبتون كريك » Francis Hary Compton Krick (1916-) إحدى النماذج paradigme (أو أحد الاختراقات) العلمية الكبرى في الزمن المعاصر، وأهّلت مكتشفَيها لنيل جائزة نوبل عام 1962. مع «موريس ويلكينز» واستبعاد روزالين فرانكلين. وتعرف هذه البنية عموماً بحلزون « واتسون » و « كريك » المزدوج. ويتألف هذا الجزيء العملاق (الذي حل منذ 3 . 7 مليار عام محل RNA ، ARN بسبب صلابته وكفاءة تنسخه العالية)، يتألف إذاً من شريطتين من النكليوتيدات الأربعة، وهي: الأدنين (A) والغوانين (G) والتيمين (T) والسيتوزين (C). وتُتمّ الشريطة الواحدة منهما الأخرى، بحيث يتشافع (يتتام) دائماً A مع T، و G مع C. وكما ذكرنا غير مرة، فإن النكليوتيد الواحد يتألف من ارتباط جزيء سكر الريبوز الخماسي الكربون (وهنا يكون مرجعاً، فيعرف بالريبوز المنزوع الأكسجين) بأحد طرفيه بزمرة الفسفات، وبالطرف الآخر بأحد الأسس الآزوتية العضوية الأربعة المشار إليها أعلاه (A أو G أو T أو C).

←إن مقدرة الأرجينين على الترابط بجزيء RNA ، ARN، أوحت لبعض الباحثين بطراز للراموز أو الكود الجيني. يتيح الاقتراح أنّ مقرات ربط الغوانوزين (كتلك التي توجد في مجموعة الأنترونات رقم I، التي تجدل نفسها بنفسها وبوسعها شطر DNA ، ADN أيضاً وذلك كما عرضنا في النص منذ قليل)، إن مقرات ربط الغوانوزين إذاً قد تم انتقاؤها في أثناء عملية الانتساخ الذاتي. إن التشابه بين بنيتي كل من الغوانوزين والأرجينين الذي أتينا للتو على ذكره، أتاح لهذا الحمض الأميني الارتباط قرب المقر الفعال للريبوزيم الذي استطاع استعمال الأرجينين كركيزة، الأمر الذي أدّى إلى تنشيط الريبوزيم ذاتياً، ومن ثم ارتباط الأرجينين (الذي تم تفعيله على هذا النحو) بالغوانوزين. وهكذا، وعلى هذه الصورة، نشأت بداءة رامزة الأرجينين.

الشكل 7 . 11. تمثيل التشابه البنيوي بين الأرجينين والغوانوزين. لقد مُثّلت البنيتان بحيث تكون زمرة الغوانودينو الرأسية للأرجينين ذات توجيه يشابه القسم المماثل من الغوانوزين. ويمكن توسيع التشابه عبر الغوانين ليشمل السكر، حيث يصبح بإمكان الزمرة الأمينية الأولية أو الزمرة الكربوكسيلية للأرجينين أن تتراكب مع زمر الهدركسيل للريبوز (عن Hirao, I. And Ellington, A.D.,1995، المرجع 48، ص. 1019).



ويرتبط النكليوتيد الواحد بنكليوتيد تالٍ بوساطة الريبوز المنزوع الأكسجين أيضاً، حيث يشكل جزيئان متتاليان منه مع زمرة الفسفات رابطة فسفاتية ثنائية الإستر (الأشكال 7 .12إلى7 .15). ويؤدي ارتباط النكليوتيدات بعضها ببعض إلى تشكل سلسلة من عديد النكليوتيد، تتام مع سلسلة متممة لها، حيث يتشافع الأدنين مع التيمين، والغوانين مع السيتوزين. وتلتف شريطتا عديدات النكليوتيد حول محور وهمي مشترك، بحيث، يكون اتجاه التفاف إحداهما معاكساً لاتجاه الشريطة الأخرى، وهكذا يتشكل الحلزون مزدوج الشريطة، وهذا هو حلزون «واتسون-كريك» المزدوج.

β-D-2- الريبوز منزوع الأكسجين — البورين — البيريميدين

الأدينين (A) — الغوانين (G) — التيمين (T) — السيتوزين (C)

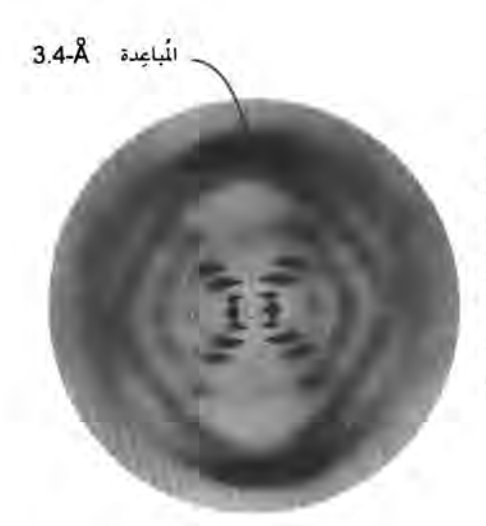
الشكل 7 .12. تمثيل صيغ كل من الريبوز المنزوع الأكسجين، وأساسي البورين والبيريميدين، وكذلك الأدنين (A) والغوانين (G) المشتقين من البورين، والتيمين (T) والسيتوزين (C) المشتقين من البيريميدين (عنStryer,1995، المرجع 30، ص. 76).

وتتوضع الأسس المتشافعة داخل الحلزون المزدوج، في حين يتوضع الريبوز المنزوع الأكسجين والفسفات خارج هذا الحلزون. وتعد نوعية التشافع (أي ضرورة أن يتشافع دائماً الأدنين مع التيمين والغوانين مع السيتوزين) السمة الحاسمة في بنية الحلزون المزدوج، وذلك في ما يتعلق بآلية التنسخ من جهة، وبالحفاظ على المعلومات الجينية الضرورية لتكوين الأجيال التالية من جهة أخرى. إن هذا التشافع مفروض من قبل البنية الفراغية المنتظمة والناتجة من تقابل أساس من البورين (أدنين أو غوانين) مع أساس من البيريميدين (تيمين أو سيتوزين)، واستحالة تشافع أساسين من نوع واحد (أي أدنين مع غوانين، أو تيمين مع سيتوزين) تشافعاً طبيعياً. كما أن نظامية هذا التشافع مفروضة أيضاً من قبل العوامل المؤدية إلى تكون القوى أو الروابط الهدرجينية بين الأسس المتشافعة. هذا ويبلغ قطر الحلزون (مقطعه العرضي) 2 نانومتر.

الأساس — الأساس — الأساس

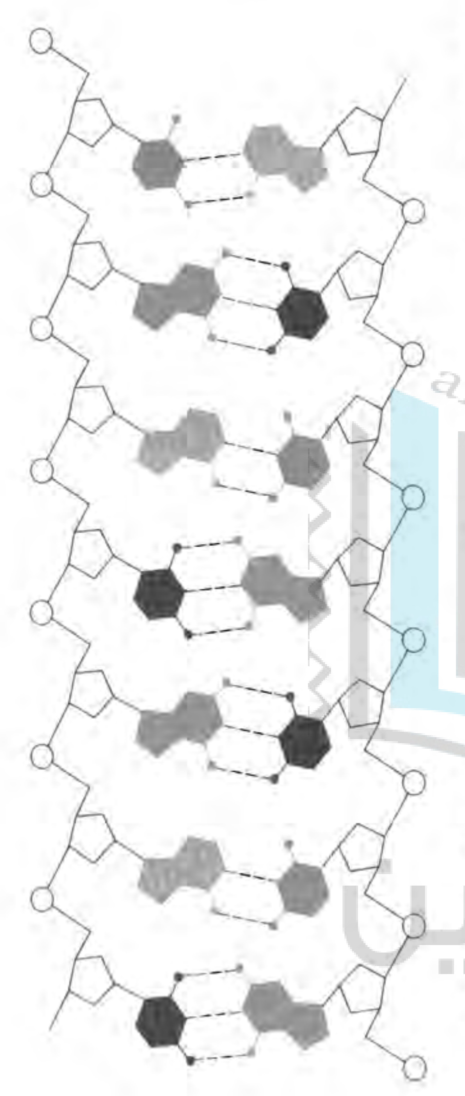
الشكل 7 .13. تمثيل جزء من سلسلة DNA، ADN. لاحظ كيف أن الريبوز المنزوع الأكسجين يتوسط ارتباط الأساس بالكربون الأول للسكر برابطة إسترية (يمين الشكل)، وكيف ترتبط زمرة الفسفات بالكربون الخامس برابطة فسفاتية ثنائية الإستر (يسار الشكل). ويقرأ التسلسل نزلاً (أي باتجاه التيار) 3́→5́ (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 77).





الشكل 7 .14. صورة انعراج الأشعة السينية لليف مميه من AND ، DNA . يُمثل التصالب المركزي البنية الحلزونية (حلزون « واتسون ـ كريك » المزدوج) ، ويمثل القوسان شديدا العتامة في القطبين (الزِوالية) تكدس أشفاع (أزواج) الأسس التي يبعد كل واحد منها عن الآخر 3.4 أنغستروم . إن هذه الصورة الأصلية وغيرها من الصور التي قامت الآنسة «روزاليند فرانكلين» بتحضيرها في مختبر «موريس ويلكينز» هي التي أدّت إلى اكتشاف بنية حلزون DNA ، ADN المزدوج ، حلزون « واتسون ـ كريك » . ولكن الآنسة فرنكلين لم تُشرك في الفوز بجائزة « نوبل » (الصورة عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 80) .

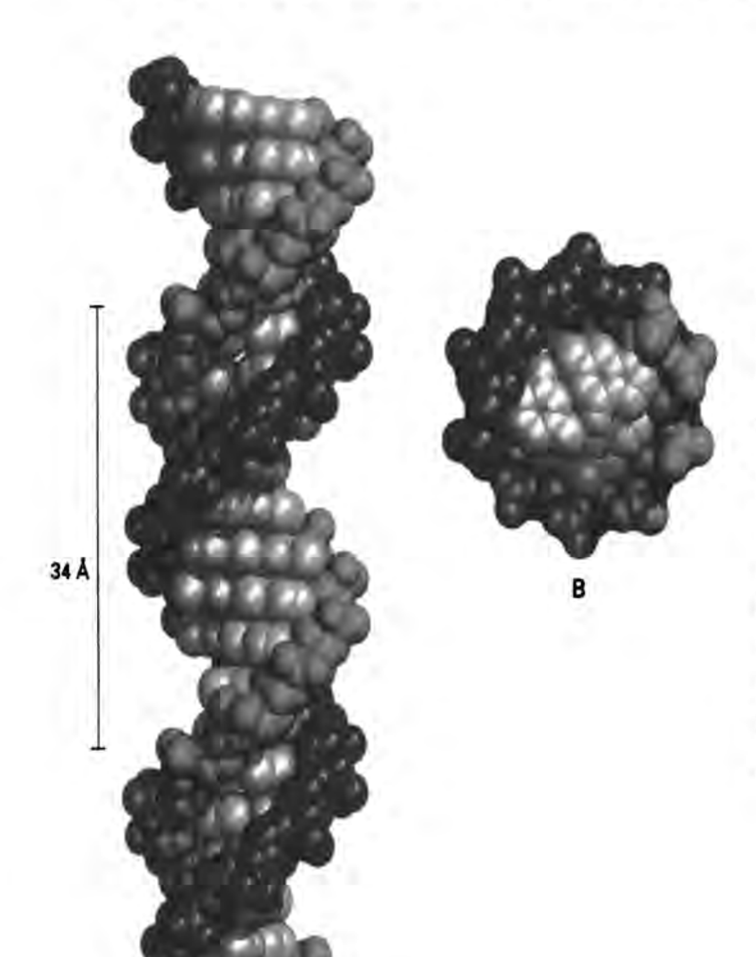
ويمكن (بكثير من التبسيط ، وبغية إيضاح صلابته) تشبيه بنية ADN,DNA بالسلم، حيث يشكل مكوثرا الريبوز المنزوع الأكسجين والفسفات قائمتي السلم، وتشكل الأسس الآزوتية المتتامة، مع روابطها الهدرجينية، درجات (عوارض) السلم. ولزيادة المتانة أكثر، فإن القائمتين تَلَوَّتا حلزونياً، بحيث تبقى الواحدة منهما موازية للأخرى. وتجدر الإشارة إلى أن الأعمدة حلزونية الشكل في الهندسة المعمارية (كما بُنيت في بعض الحضارات القديمة) أشد صلابة وأكثر جمالاً وأناقة من الأعمدة العادية. ولعل هذا التشبيه لا يوضح صلابة الجزيء فحسب، إنما أيضاً سهولة تنسخه (بسبب التتامية بين الأسس من الجهة، ولثبات المسافة بين القائمتين من جهة أخرى)، كما يوضح هذا التشبيه كيف يمكن لهذا الحلزون المزدوج (وبمساعدة بروتينات الهستونات المرتبطة به، انظر الحاشية 7 .12) أن يسترخي لينجز عمليتي التنسخ والانتساخ خارج طور انقسام الخلية، وأن يتقلص



الشكل 7 .15. مخطط ترسيمي لبنية DNA ، ADN . مُثِّل العمود الفقاري للشريطة الواحدة (الذي يتألف من السكر والفسفات) بالأسود ، كما مُثِّلت الأسس بالأخضر (الغوانين) ، وبالأصفر (الأدنين) ، وبالأحمر (السيتوزين) ، وبالأزرق (التيمين) لاحظ وجود رابطتين هدرجينيتين بين الأدنين والتيمين ، وثلاث روابط بين الغوانين والسيتوزين . إن غياب ذرة الأكسجين في الموقع ´2 من جزيء الريبوز (فأصبح منزوع الأكسجين) ، ومن ثم عدم وجود شحنة سلبية في هذا الموقع (كانت ستتنافر مع الشحنة السلبية للفسفات)، إن هذا الغياب هو الذي سمح بتشكل حلزون « واتسون ـ كريك » ، أمر لم يتحقق في جزيء RNA ، ARN . (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 75) .



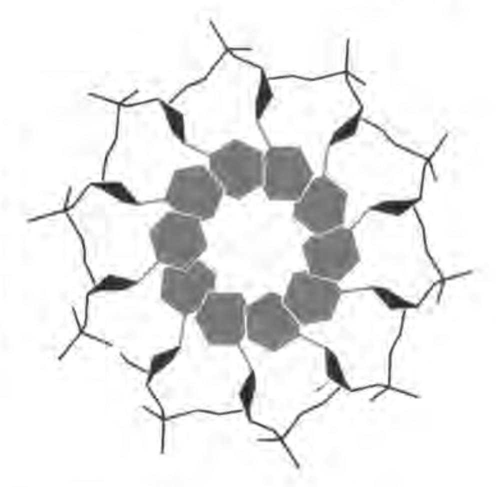
كثيراً ليشكل الصبغي عند انقسام الخلية، هذا الانقسام الذي ما كان ليحدث فيزيائياً لولا هذا التقاصر التقلصي والارتزامي للحلزون (الشكلان 7.16 و 7.17)(7.11) . يتم إذاً ربط الشريطتين بعضهما ببعض بروابط هدرجينية (يُرجع إلى الحاشية 6.3) : رابطتان بين الأدنين والتيمين، وثلاث روابط بين الغوانين والسيتوزين.



الشكل 7.16. طراز مليء الأحياز أو البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية لحلزون « واتسون ـ كريك » المزدوج . مُثِّلت إحدى سلسلتي السكر ـ الفسفات بالأخضر الناصع ، والثانية بالأحمر القاني . أمَّا أسس البورين والبيريميدين ، فمثُّلت باللونين نفسيهما إنما مخففين . إن القسم (A) من الشكل يمثل منظراً جبهياً ، تتكرر فيه وحدة البنية (اللَّفَّة الواحدة) مرة كل 34 أنغستروماً . ويحوي الحلزون المزدوج ميزابتين (يُرجع إلى النص) : الكُبرى ؛ وتبلغ أبعادها 8.5 (العمق) ، 12.6 (العرض) ؛ و 34 (الطول) أنغستروماً ، والصغرى : 7.5 × 6 × طول الحلزون بالانغستروم. يمثل القسم (B) منظراً شعاعياً (مقطعاً ، ينظر منه إلى محور الحلزون من الأعلى إلى الأسفل) (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 80) .

(7.11) ترتبط زمرة الفسفات بجزيئي ريبوز (منزوع الأكسجين في جزيء DNA، ADN) متتاليين برابطة ثنائية الإستر (يُرجع إلى الشكل 7.12) في الكربونين رقم 3َ و 5َ (تقرأ 3َ رئيسة و 5َ رئيسة) من جزيئي الريبوز المنزوع الأكسجين المتتاليين. فإذا ما قُرئ التسلسل من 5َ باتجاه 3َ (اتفاقياً من اليسار إلى اليمين)، تكون قراءة التسلسل عندئذ نُزلاً (downstream، حرفياً مع التيار). وتكون القراءة صُعداً (upstream، حرفياً ضد التيار) إذا ما تمت القراءة من 3َ باتجاه 5َ (اتفاقياً من اليمين إلى اليسار). أما الأساس العضوي الآزوتي، فيرتبط إذا كان من البورين (أدنين أو غوانين) برابطة غليكوزيدية بين الكربون رقم 1 من الريبوز المنزوع الأكسجين (1C)، وبين الآزوت رقم 9 (N-9) من الأساس. أمَّا إذا كان الأساس من البيريميدين (تيمين أو سيتوزين)، فالرابطة الغليكوزيدية تنشأ بين 1C من الريبوز المنزوع الأكسجين، وبين N1 من الأساس. وبطبيعة الحال، فإن الروابط نفسها تنشأ في حال RNA، ARN، ماعدا أن اليوراسيل كان موجوداً في هذا الجزيء وحل محله التيمين في DNA، ADN، كما أن الريبوز أُرجع ليصبح منزوع الأكسجين. يمكن الرجوع (للإطلاع على تفصيل أوسع لبنية DNA، ADN ووظيفته) إلى الدراسة التي أعدها المؤلف عن هذا الموضوع والموسومة بالعنوان «**في القرن العشرين: DNA والتطور الموجه**»، «مجلة عالم الفكر»، محور «التقدم العلمي المعاصر» (الكويت)، أكتوبر (تشرين الأول) - ديسمبر (كانون الأول)، المجلد **29**, 93-144(2000).





الشكل 7.17. مخطط ترسيمي لإحدى شريطتي حلزون DNA ، ADN المزدوج ، يُنظر إليها من أعلى محور الحلزون . إن الأسس (وكلها بيريميدينية ، أي تيمين وسيتوزين ، الأزرق) توجد في الداخل . أمَّا العمود الفقري للشريطة (السكر ـ الفسفات ، الأحمر) ، فتتوضع في الاتجاه الخارجي . إن البنية العشارية (أي وحدة الالتفاف على طول المحور ، وطولها 34 أنغستروماً) واضحة في هذا المخطط (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 81) .

ويحوي حلزون DNA، ADN المزدوج ميزابتين طولانيتين (موازيتين لمحور الحلزون): الميزابة الكبرى التي تنشأ نتيجة التفاف شريطتي الحلزون حول محور وهمي وعلى نحو متواز، ويبلغ عمقها 0.85 وعرضها 1.2 وطولها 3.4 (أوطول اللفة الواحدة) نانومتراً (النانومتر يساوي جزءاً من مليار من المتر). أمَّا الميزابة الصغرى، فتنشأ بين الشريطتين، ويبلغ عمقها 0.75 وعرضها 0.6 نانومتراً، أما طولها فهو طول الحلزون نفسه.

وكما كنا أشرنا منذ قليل، فإن عالم DNA، ADN حل مكان عالم RNA، ARN بسبب الكفاءة العالية لهذا الجزيء في ما يتعلق بتنسخه الذاتي من جهة، وبسبب متانة الحلزون المزدوج لهذا الحمض من جهة أخرى، فكانت التقانة أكثر رفعة. صحيح أن الأسس تتشافع متتامة في مناطق معينة من جزيء RNA، ARN (يُرجع إلى الشكل 7.9)، لكن هذا التشافع يبقى جزئياً بسبب تنافر الشحنتين السلبيتين للزمرة OH^- لكربون الريبوز الثاني والشحنة الموجبة لزمرة الفوسفات PO_4^{3-} - . ويظل الحلزون المزدوج بنية خاصة يتفرد بها DNA، ADN من حيث سهولة التنسخ فراغياً، ومن حيث متانة الجزيء. ونعود هنا لنصادف تطوراً موجهاً ذا معنى من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر كفاية (وفعالية) ومردوداً وأداءً، تقود الانتقاء الطبيعي الموجه فيه القوى التكافؤية واللاتكافؤية. وبالمقابل، فإن جزيء RNA، ARN يتألف في معظم بنيته من شريطة واحدة، رخوة القوام، لا تساعدها بنيتها الهشة على مقاومة عوامل البيئة (فيزيائية أو كيميائية أو بيولوجية)، ولا تمنحها قوة المرونة الميكانيكية الضرورية لحدوث تنسخ سريع، وارتزام مناسب داخل الخلية (خاصة ساعدت DNA، ADN على الاسترخاء والارتزام لدى تشكل الصبغيات داخل نواة الخلية). وكما سبق أن عرضنا، فقد تفردت الأعمدة الحلزونية بدور مرموق من حيث المتانة والجمال والأناقة في الفن المعماري للحضارات المختلفة. ويعد جزيء الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين واحداً من بين أشد الجزيئات التي عرفتها البيولوجيا متانة، إن لم يكن أمتنها على الإطلاق. إن إخضاع محلول الجزيء في الماء للغليان لا يسبب تكسره، وكل ما يحدث هو انفصال الشريطتين بعضهما عن بعض (أي تحطم الروابط الهدرجينية، ليعود الحلزون ويتشكل هو نفسه عند تبريد المحلول بدرجة حرارة تقل عن خمسين سِلسيوس، أي تعود الروابط الهدرجينية لتتشكل من جديد بظاهرة الإسقاء). كما أوضحت دراسات مختلفة أن الفيروسات التي تتألف مادتها الجينية من DNA، ADN، لا تتأثر بالأنزيمات الهاضمة الموجودة في جهاز الهضم للفئران لعدم احتواء هذا الجهاز على أنزيمات التقييد التي تحلمه (تحطم) الروابط بين النكليوتيدات. وعندما



اكتشف الكيميائيون الحيويون صلابة هذا الجزيء، شعروا بسعادة كبيرة لتعاملهم مع جزيء متين ومقاوم، أراحهم من صعوبة التعامل مع البروتينات العطوبة والهشة. وكما سنرى في الفصل التاسع من هذا الكتاب، فإن سوء استعمال هذه الخاصة (بمعنى تكوين كائنات حية محورة جينياً بوساطة الهندسة الجينية، أي تكوين كائنات تحوي جينات من كائنات أخرى ليست من نوعها) ستلحق بالحياة (وبالبشرية خاصة) أضراراً قد تكون أشد فداحة من التفاعلات النووية وقد تنتهي بتلوث جيني.

وكما هو معلوم، فإن جسم الإنسان البالغ يتألف من 100 ألف مليار (أي 1×10^{14}) خلية. وتحوي نواة كل خلية من هذه الخلايا 46 صبغياً (الشكل 7. 18)، نصفها أتى من الأم (أي 22 صبغياً جسدياً، وصبغي جنسي هو الصبغي X في حال الابنة، أو الابن)، ونصفها الآخر أتى من الأب (22 صبغياً جسدياً، كل واحد منها قرين للصبغي المماثل في الأم، وصبغي جنسي هو الصبغي X في حال الابنة، أو الصبغي Y في الابن). فالصيغة الصبغية (أو الطابع النووي-من نواة الخلية)





الشكل 7. 18.أ. صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لصبغيات الإنسان. لاحظ التعصيب الصبغي ونوعي الكروماتين (الحقيقي والغيري)، حيث تم التلوين بملونات نوعية مختلفة [عن Abbott, A. Nature **406**. 340-342 (2000)].

للإنسان الأنثى السوية هي XX + 44، وللذكر XY + 44. وبالنظر إلى أن كل صبغي من الأم له ما يقابله (أي ما يكافئه تماماً من حيث عدد

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 X Y
> 1000 kb　250 - 1000 kb　< 250 kb
كروماتين غيري　تسلسل تمهيدي

الشكل 7. 18.ب. مخطط ترسيمي للمجموعة الفردانية لصبغيات الإنسان الجسمية (من 1 إلى 22)، وللصبغيين الجنسيين X و Y. تمثل المناطق الملونة بالأحمر القاني تسلسلات يزيد طولها على ألف كيلو أساس، وبالأحمر المتوسط ما يتراوح ما بين 1 000 و 250 كيلو أساس، وبالأحمر الفاتح ما يقل عن 250 كيلو أساس. وتمثل المناطق الملونة بالأخضر الفاتح ما تمت سلسلته حتى أواخر عام 1999، وباللون الأزرق الرمادي الكروماتين الغيري [الشكل عن Loder,1999، المرجع 149، ص. 448، انظر أيضاً المرجع 150، وافتتاحية هذا العدد ذي الرقم **402** / **2** لمجلة «نيتشر Nature»، وكذلك الصفحتين 467 و 468 من العدد نفسه. لاحظ أن الصبغي 22 أطول قليلاً من الصبغي 21. وتجدر الإشارة إلى أنه تم الإعلان رسمياً في كل من واشنطن ولندن وباريس وبيكين وعواصم أخرى في 26 حزيران (يونيو) من العام 2000 عن الانتهاء من سلسلة أكثر من 97 في المئة من الجينوم البشري. وكان الإنفاق عليها عموماً من أموال عامة. ولقد أعلن في شهر نيسان (أبريل) من هذا العام (2003) عن تعرف جينات كامل الجينوم البشري، وبخاصة مايرتبط منها بالأمراض الوراثية].



الجينات وتسلسلها على الأقل، إن لم يكن من أجل تسلسل نكليوتيدات DNA، ADN كلها) من الأب، فإن كلمة جينوم تعني عادة مجموعة صبغيات الأم أو مجموعة صبغيات الأب، وتعرف عندئذ بالمجموعة الفردانية haploid، haploide. أما المجموعتان معاً فتعرفان بالصيغة الصبغية الضعفانية diploid، diploide. وتتألف المجموعة الفردانية في الإنسان من قرابة 3 مليار نكليوتيد (موزعة بطبيعة الحال على 22 صبغياً جسدياً وصبغي جنسي واحد). ويبلغ طول النكليوتيد الواحد (في الواقع طول القسم من جزيء الريبوز المنزوع الأكسجين، والقسم من زمرة الفسفات اللذين يشكلان جزءاً من قائمة السلم، ذلك أن جزيء الأساس العضوي الآزوتي يتوضع عرضياً)، يبلغ إذاً طول النكليوتيد الواحد طولياً 0.34 نانومتر (أو 3.4 أنغستروماً، ويبلغ الأنغستروم جزء من عشرة مليارات جزء من المتر).

وإذا تصورنا أننا بسطنا نكليوتيدات صبغيات المجموعة الفردانية للخلية البشرية على شكل شريط سلمي، فإنَّ طول هذا الشريط سيبلغ 1.02 متراً تقريباً، وفي الخلية البشرية الواحدة 2.04 متراً. أمَّا طول أشرطة DNA، ADN الموجودة في خلايا جسمنا كلها، والبالغ عددها قرابة 100 ألف مليار خلية، فيبلغ $2.04 \times 10^{14} \times 10^{-3}$ أو 204 مليار كيلومتر. ويلف هذا الشريط الكرة الأرضية في خط استوائها قرابة 5.1 مليون مرة. وإذا كان الكوكب بلوتو يبعد عن الشمس مسافة 5.9 مليار كيلومتر (يُرجع إلى الجدول 2.3)، وإذا افترضنا أن الشمس تقع في مركز المدار الاهليلجي الذي ترسمه كواكبها التسعة حولها، فإن كمية DNA، ADN الموجودة في جسمنا تستطيع كشريط أن تقطع قطر هذا المدار مقدار 17.3 مرة تقريباً. أما في ما يتعلق بالكتلة، فإن جسمنا يحوي قرابة 200 1 غرام من DNA، ADN موزعة على 10^{14} خلية (أي أننا نرث من الأب، أو من الأم مقدار 6 بيكوغرام -إن الغرام يساوي ألف مليار بيكوغرام- من هذا الحمض، وتكون هذه الكمية في رأس النطفة أو في البيضة، وتزداد هذه الكتلة في أثناء تحول البيضة المخصبة إلى فرد بالغ قرابة 100 ألف مليار مرة). وترمِّز الكمية الفردانية من DNA، ADN (أي 6 بيكوغرام، وزن المجموعة الفردانية) مابين 300 و400 ألف نوع من البروتينات، التي تبلغ كتلتها في جسمنا قرابة 7 كيلوغراماً (يتألف جسم الإنسان وسطياً من 10 في المئة من وزنه بروتيناً).

أما في ما يتعلق بعدد الجينات التي تكوّن نمطنا الجيني، فيبلغ (كما سبق أن أشرنا) قرابة 30 ألف جين، بعضها ينظم عمل بعضها الآخر، كما أن عدداً منها لا عمل له، ويعرف بالجينات الكاذبة. وتبلغ نسبة النكليوتيدات التي تكوِّن هذه الجينات قرابة 5 في المئة من المجموعة الفردانية. وكما كنا ذكرنا في هذه الفقرة، فإن «جلبرت» يقدر عدد الإكسونات في الطبيعة ما بين ألف وسبعة آلاف إكسون فقط، ترمز (بتراتباتها المختلفة) ما بين 300 و500 ألف بروتين توجد في الأحياء كافة[50]. أما في ما يتعلق بغالبية DNA، ADN غير المرمِّزة (وتتراوح نسبتها قرابة 95 في المئة)، فتعرف بتسلسلات التداخل، وتتألف في معظمها من DNA، ADN تكراري (أي تسلسلات معينة تتكرر عدداً كبيراً من المرات). هذا، وسنعرض إلى هذه التسلسلات التي تعرف بالسواتل في الفصل التاسع من هذا الكتاب.

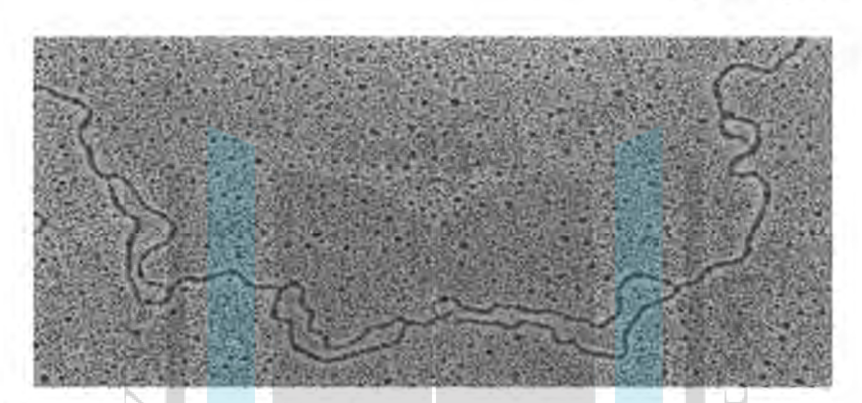
وكما أفاد عالم RNA، ARN من وجود البروتينات لتدعيم بنيته، ولزيادة كفاية أدائه، كذلك فعل DNA، ADN الذي حاكى الريبوزيمات (الريبوزومات)، ولكن ارتبط بعدد قليل نسبياً من البروتينات، وشكل مادة الصبغيات التي تعرف بالكروماتين chromatine. إن DNA، ADN لا يكون عارياً (أي بدون بروتينات ترتبط به) إلا في الكائنات الحية التي لا تحوي على نواة، أو ما يعرف ببدائيات النوى prokaryotes (أي أنواع البكتيريا، حيث تكون مادة الجينات ضمن الخلية المجردة من النواة). أمَّا في الخلايا التي تحوي نواة، والتي تعرف بحقيقيات النوى eukaryotes (وحيدات



الخلية كافةً ماعدا البكتيريا وكل كثيرات الخلايا)، فإن DNA ، ADN يشكل (بترابطه مع خمسة أنواع من البروتينات) الكروماتين الذي يرتزم (كما سبق أن أشرنا) في أثناء انقسام الخلية، ليجعل هذه العملية ممكنة فيزيائياً. أمَّا خارج فترة انقسام الخلية (وهذه هي حال الغالبية العظمى لخلايانا)، فإن الكروماتين يكون مسترخياً ضمن النواة، مشكلاً خيوطاً طويلة تحمل على امتدادها البروتينات الخمسة المرافقة. إن حالة الاسترخاء هذه تمكن الجينات من القيام بوظائفها، وتمكن DNA ، ADN من التنسخ (الشكل 7 .19). ويطلق على كل بروتين من هذه البروتينات الخمسة اسم الهستون



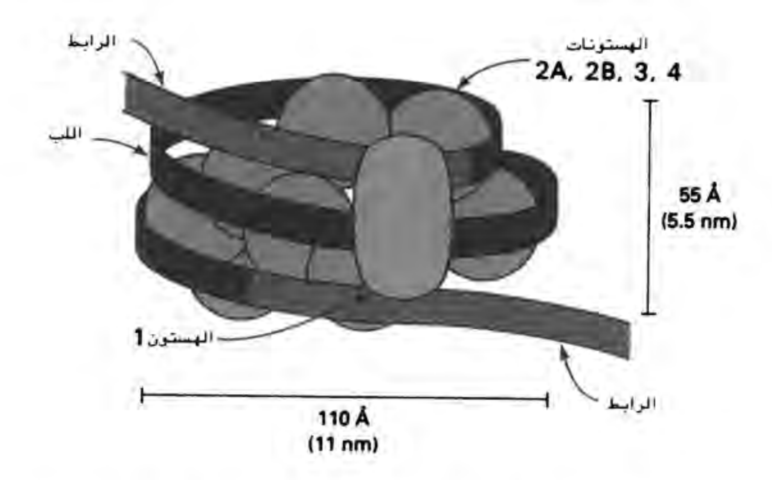
الشكل 7 .19 ـ أ . صورة بالمجهر الإلكتروني للكروماتين (حالة الاسترخاء) . تمثل الحبيبات الجُسيمات النووية (انظر الشكل 7 .20) . يبلغ قطر الجُسَيْم الواحد 100 أنغستروم (10 نانومتر) . يمثل الخيط الذي يصل الجسيمات ببعضها البعض DNA ، ADN مرتبطاً بالهستون H1 (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 978) .



الشكل 7 .19 ـ ب . صورة بالمجهر الإلكتروني لتَنَسّخ (تكرر ، تضاعف) DNA ، ADN في نواة خلية من مرحلة التشطر لجنين ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster* . تمثل العُرى النواحي التي تم تنَسّخها (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 982) .

histone، ويرمز له بالحرف H (من الكلمة نفسها). فهنالك H_1 و H_{2A}، و H_{2B}، و H_3 و H_4 (الشكل 7 .20 ، أنظر أيضاً الحاشية 7 .12). إن خلايا جسمنا كلها (ما عدا الكريات الحمر الدموية التي هي مجردة من النوى) تحوي الصبغيات نفسها، وكذلك الهستونات ذاتها، ونشأت كلها من خلية واحدة هي البيضة المخصبة التي تحوي هي نفسها 44 صبغياً جسدياً والصبغيين X و X في حال الأنثى، أو الصبغيين X و Y في حال الذكر. ولدى انقسام البيضة المخصبة، لتكوِّن الجنين، ومن ثم الفرد البالغ، فإن كل خلية من خلاياه المئة ألف مليار سترث الصبغيات نفسها، وكذلك الهستونات ذاتها. فكيف إذاً تكونت أجسامنا من نسج ومن أعضاء ومن أجهزة، يؤدي كل منها وظيفة نوعية محددة، يتخصص





الشكل 7 .20. مخطط ترسيمي لناحية من الكروماتين تحوي جسيماً نووياً . يلتف حلزون « واتسون ـ كريك » (الأحمر) حول ثماني القُسَّيم octamere ، octamère الذي يتألف من جزيئين من كل من الهستونات H2A و H2B و H3 و H4 (الأزرق) . لقد مُثل DNA ، ADN في لب القُسَّيم النووي بالأحمر القاني . إن الهستون H1 (الأصفر) يرتبط بالناحية الخارجية من اللُب ثماني القُسَّيم ، وكذلك بقسم من جزيء DNA ، ADN ، يُعرف بالرابط (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30 ، ص. 979) .

بها كل نسيج دون غيره؟ ليس هذا فقط ، بل أن لكل نمط خلوي يؤدي وظيفته النوعية (التي تخصص بها) بنية وشكلاً يخصصانه أيضاً، ويتيحان له أداء هذه الوظيفة بأعلى مردود ممكن، وبأفضل كفاية (أو فعالية) متاحة . كيف حدث ذلك في الوقت الذي تمتلك فيه كل خلية من جسمنا الصبغيات نفسها (بل وحتى الجينات نفسها – ما عدا قلة من الخلايا) والهستونات ذاتها؟

فإذا كان اكتشاف بنية حلزون DNA ، ADN المزدوج عام 1953 من قبل « واتسون » و« كريك » قد شكل أكبر حدث في تاريخ البيولوجيا، فإن الإجابة على هذا السؤال الجوهري يمثل أعقد معضلة في البيولوجيا: كسيرورة بحد ذاتها، ولصلتها أيضاً بنشوء الخباثة (حدوث التسرطن). ومع أننا سنعرض إلى هذا الموضوع الأساسي في الفصل التالي (الثامن) من هذا الكتاب، يمكننا القول الآن (وبإيجاز شديد) إن التعبير الجيني (أي تحول النمط الجيني إلى النمط الظاهري) يتم في أنماط النسج المختلفة على نحو تفاضلي، أي أن مجموعة الجينات التي تعمل (أو يُعَبَّر عنها) في الخلايا العضلية هي غير مجموعة الجينات التي تعمل (أو يُعَبَّر عنها) في الخلايا العصبية، وهاتان المجموعتان من الجينات تختلفان عن مجموعة الجينات التي تعمل في الخلايا الجلدية، وهكذا. ففي كل نمط خلوي، تعمل مجموعة من الجينات خاصة به، وتختلف عن مجموعة أي نمط خلوي آخر. فالجينات كلها موجودة في الخلايا كافةً، إنما لكل نمط خلوي طاقمه الجيني الخاص به (أي لكل مصنع متخصص بصنع جهاز ما فنيوّه وعماله الخاصون به). أمَّا الإجابة على التساؤل لماذا حدث ذلك، فترجع إلى الغاية من حدوث التطور الموجه ذي المعنى. وتستطيع المعرفة التجربية أن تجيبنا (ولو جزئياً) على التساؤل كيف يحدث ذلك حالياً. إذ تتوفر لدينا أدلة توضح آلية سيرورات هذا التعبير الجيني التفاضلي.

ففي كل نمط خلوي تكون علاقة DNA ، ADN بالهستونات مختلفة عن أي نمط خلوي آخر. هذا من جهة، ومن جهة أخرى، فإن عملية التمتيل (ارتباط زمرة الميتيل CH_3- بالكربون الخامس من السيتوزين في الحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين)، تتفاوت هي الأخرى من نمط خلوي آخر. كما أن هذه الهستونات تؤسل (إضافة زمرة الأسيتيل) على



نحو انتقائي، يختلف من نمط خلوي إلى آخر. أي إن التعبير الجيني التفاضلي ينظم بأربع آليات: **الأولى** علاقة DNA، ADN بالهستونات الخمسة، **والثانية** المناطق من هذا الحمض التي ارتبطت بها زمرة الميتيل(12.7). أما نمط الآلية **الثالثة**، فتتمثل بطريقة ارتباط بروتينات عوامل الانتساخ بالطاقم الجيني المعني. وتنطوي الآلية **الرابعة** على أستلة الهستونات.

(12.7) ليس التعبير الجيني التفاضلي سوى وضع مجموعة معينة من الجينات في نمط خلوي معين موضع العمل، أي انتساخ هذه الجينات في متصلة المكان-الزمن (ذات الأبعاد الأربعة) من قبل ثلاثة أنواع من أنزيم يعرف بانزيم بوليميراز RNA، ARN، لتتشكل أنواع هذا الحمض الثلاثة، أي الرسيل (mRNA، ARNm)، والناقل (tRNA، ARNt)، والريبوزومي (rRNA، ARNr). وكما عرضنا في ما سبق (يُرجع إلى الحاشية 9.7 والجدول 1.7)، فإن عدد أنواع الرسل في الأحياء كافة يبلغ بضع عشرات آلاف الرسل، تنشأ من عدد أقل بكثير من الإكسونات (ما بين ألف وسبعة آلاف إكسون) [50] وذلك بفضل ظاهرة اختلاف التراتب (أو الأشكال التضامية). ويبلغ عدد أنواع الناقل في الأحياء كلها 61 ناقلاً. ويوجد من أنواع الريبوزومي ثلاثة فقط، هي: 5S و 18S، و 28S. إن البوليميراز رقم I هو الذي ينسخ جينات أنواع الريبوزومي الثلاثة. ويقوم البوليميراز رقم II بنسخ أنواع الرسل، في حين ينسخ البوليميراز رقم III أنواع الناقل، وأخرى قصيرة التسلسل. وكما كنا أشرنا في ماسبق، فإن هذا الترقيم أتى من غزارة الحمض المعني في الخلية. إن النمط الجيني (كرموز في DNA، ADN لا تغادر النواة)، يتحول إلى نمط ظاهري (بروتينات تكون أجسامنا وخصائصنا) بفضل ما تبقى من عالم RNA، ARN. ومن المعلوم أن خلايا أجسامنا تحوي نوعين رئيسين من البروتينات: البروتينات الأساسية الضرورية لحياة الخلية، وهي واحدة في الخلايا كلها، وتُبقي الخلية حية. أما النوع الثاني من البروتينات فهو الذي يمنح الخلية وظيفتها (وهي الخاصة الكيميائية الحيوية للبروتين)، ومن ثم شكلها الذي يأتي على نحو يكون فيه المردود الوظيفي في أعلى كفاية (أو فعالية) ممكنة. ويطلق على هذا النوع من البروتين اسم البروتين المميز، أو البروتين الكمالي (لأنَّ بمكّنه الخلية أن تبقى حية بدون هذا البروتين).

إن الجين هو تسلسل من النكليوتيدات يحتاج (كي يُعبر عن نفسه إلى نمط ظاهر) لأن ينتسخ من قبل بوليميراز RNA، ARN. ويبدأ الجين الذي سينتسخ (كما سبق أن عرضنا) بثلاثية من الأسس هي AUG (أدنين يوراسيل غوانين، وتمثل رامزة فورميل الميتيونين، يرجع إلى الجدول 1.7) في الرسيل، والثلاثية المتممة، أي TAC (تيمين أدنين سيتوزين في الجين نفسها). وينتهي الرسيل بثلاثية تعطي للبوليميراز إشارة التوقف عن الانتساخ، وقد تكون هذه الثلاثية إما UAA، أو UAG، أو UGA، علماً بأن ثلاثية البدء (استهلال الانتساخ) AUG تعمل أيضاً (كما ذكرنا غير مرة) كرامزة للحمض الأميني الميتونين، إنما على شكل فورميل الميتونين (يُرجع إلى الجدول 1.7). ويسبق الجين (عادة صعداً، أي بالاتجاه 3́←5́) تسلسل (يعرف بالمحضض promoter، promoteur)، غالباً ما يحوي التسلسل التوافقي العامTATAAT (الذي يعرف أيضاً بالتسلسل تاتا TATA)، أو التسلسل التوافقي العام GGNCAATCT (الذي يعرف بالتسلسل كات CAAT، ويمكن للحرف N في هذا التســلسل أن يكون أياً من الأســس الأربعـة). وهنالـك تســلسل آخر ذو صلـة بتفعيل الجين، ويعرف بالمعـزز enhancer، الـذي قد يقع صُعداً 3́ ← 5́) أو نُزلاً 5́ ← 3́)، أو يكون ضمن الجين نفسه، ويبعد أحياناً عن الجين ذاته آلاف الأسس.

ولكي يتم انتساخ الجين على شكل جزيء من mRNA، ARNm يجب على البوليميراز II (أو I في حال الريبوزومي، و III في حال الناقل) أن يكون قادراً على الترابط المباشر بذلك الجين. وبدهي ألاّ يحدث ذلك إلاّ إذا كان الجين مكشوفاً. ولا يتوافر ذلك إلا عندما يكون الجين طليقاً من بروتينات الهستونات من جهة، وغير مميتل كلياً من جهة ثانية. كما أن الانتساخ يتطلب ترابط عوامل الانتساخ (التي تأخذ هي الأخرى الأرقام الرومانية للبوليميراز) الخاصة بكل حمض نووي ريبي، والرسل منها خاصة. وتجدر الإشارة إلى أن عامل الانتساخ TFIID، يُعَدُّ من أكثر عوامل الانتساخ أهمية، لأنه عام من جهة، ولأنه ينظم الانتساخ بتغييره أنزيمياً الهستون H1, مما يجعل الكروماتين متاحاً للانتساخ. [انظر الشكل 21.7 ، والشكل 9 .9. جـ من المرجع: Mizzen, C. A. and Allis, C.D., Scienee **289**. 2290-2291 (2000)].

أمَّا في ما يتعلق بالهستونات (انظر الجدول 2.7)، فهي بروتينات ذات تفاعل قلوي، أي تغزر فيها ثمالات الحموض الأمينية ثنائية الأمين ($NH2^-$) أُحادية الكربوكسيل ($COOH^-$) كالليزين والأرجينين، وذات كتلة جزيئية نسبية منخفضة. أضف إلى ذلك، أن الهستونات هي بروتينات محافظة، لم يتناولها التغير كثيراً بسبب ثبات وظيفتها المتمثلة بالارتباط بوساطة شحناتها الموجبة (أي $NH3^+$) بفسفات(OP^{3-}_4-) DNA، ADN سلبية الشحنة. وبالنظر إلى حاجة الخلية لها (لأنها تكوّن مع DNA، ADN الصبغيات) في كل مرة تُعِدُّ فيها الخلية نفسها للانقسام، فإن الجينات المرمِّزة للهستونات أتت مقتصدة، أي خالية منDNA، ADN التداخلي (غير المرمِّز)، فيتم انتساخها بسرعة وعلى نحو اقتصادي. وبكلمة أخرى، فإن رُسل هذه البروتينات تتألف من الإكسونات فقط، ولا توجد فيها إنترونات. أمَّا الصفة الأخرى التي تتفرد بها←



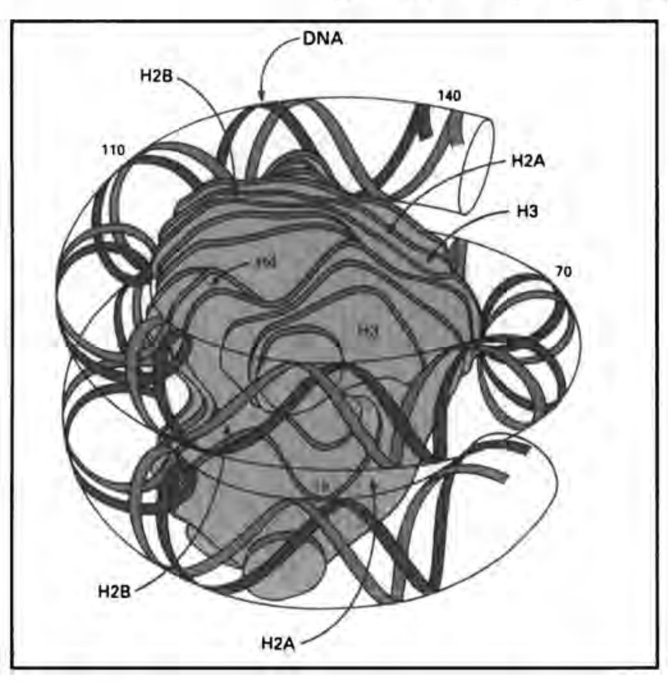
←رسل الهستونات، فتتمثل في عدم احتوائها على ذيل من عديد الأدنيل (يُرجع إلى الحاشية 7 . 9). إن عدم وجود الإنترونات (أي عدم وجود DNA، ADN تداخلي)، وغياب ذيل عديد الأدنيل، يتيح للخلية تركيب الهستونات بوفرٍ مرموق من حيث الطاقة والزمن. هذا، ويبين الجدول 7 . 2 التالي بعض خصائص الهستونات.

الجدول 7 . 2 خصائص أنماط الهستونات (المرجع 30، ص . 977)

النمط	نسبة الليزين إلى الآرجينين	عدد ثمالات الحموض الأمينية	الكتلة (كيلودالتون)	التوضع
H_1	20.0	215	21.0	رابط بين جسيمين نوويين
H_{2A}	1.25	129	14.5	الجسيم النووي (اللب)
H_{2B}	2.5	125	13.8	الجسيم النووي (اللب)
H_3	0.72	135	15.3	الجسيم النووي (اللب)
H_4	0.79	102	11.3	الجسيم النووي (اللب)

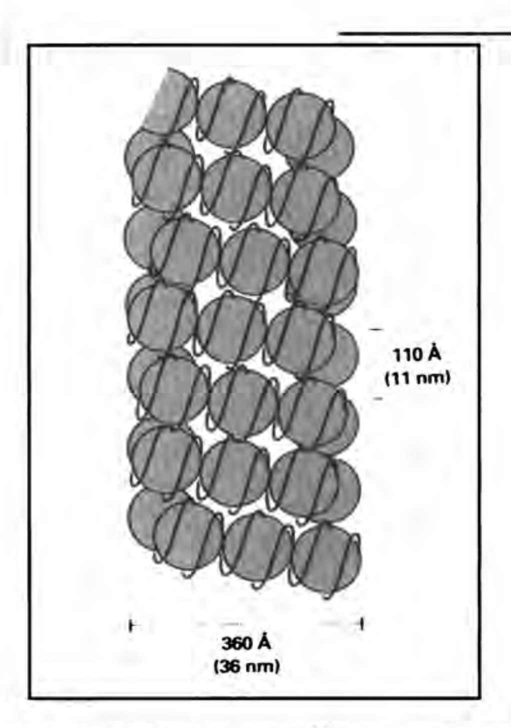
ومما يشير إلى ثبات (محافظة) بنية الهستونات، نذكر أن الهستون H4 المستخلص من غدة توتة البقر والهستون H4 المستخلص من نبات البازلاّ، والذي يتألف كل منهما من 102 ثمالة حمض أميني، لم يختلفا منذ 1.2×10^9 عام (عندما افترقت المملكة الحيوانية عن المملكة النباتية) إلا بالثمالتين رقم 60 و 77 اللتين هما الفالين والليزين في توتة االبقر، والإيزولوسين والآرجينين في البازلاّ.

ولا تقتصر وظيفة الهستونات على تنظيم عمل الجينات، بل هي أساسية لرزم الكروماتين في الصبغيات في أثناء انقسام الخلية. ذلك أن الكروماتين المسترخي كثيراً خارج أطوار الانقسام الخلوي، يرتزم كما سبق أن عرضنا متقلصاً عشرات المرات بفضل البنية الحلزونية للحمض النووي الريبي المنزوع الأكسجين من جهة، وبفضل وجود الهستونات من جهة أخرى، الأمر الذي يجعل انقسام الخلية من الناحية الفيزيائية ممكناً. وكما يبين الشكلان 7 . 21 و 7 . 22 (يُرجع أيضاً إلى الشكل 7 . 20)، فإن جزيئين من كل هستون من الهستونات الأربعة: H2A، و H2B، و H3 و H4 تترابط، فتشكل حبيبة من ثمانية جزيئات هستونية، يلتف حولها حلزون DNA، ADN المزدوج، مشكلاً معها ما يعرف بالجُسيم النووي nucleosome. أمَّا الهستون H1، فيتوضع بين جُسيمين نوويين، واصلاً بينهما وبين اللفات الثلاث لحلزون DNA، ADN المزدوج، التي ترزم الجُسيم النووي، الأمر الذي يتيح ارتزام الكروماتين (الذي كان مسترخياً) ارتزاماً شديداً، ليشكل صبغي الانقسام. كما أن الهستونات تؤستل (تضاف إليها زمر الأسيتيل، تفاضلياً؛ أي وفقاً لكل نمط من أنماط الخلايا المتمايزة. ←



الشكل 7 . 21. طراز يمثل لُب الجُسَيْم النووي (يُرجع أيضاً إلى الشكل السابق، 7 . 20)، يُوضح كيف أن DNA، ADN يلتف باتجاه يعاكس حركة عقارب الساعة حول الجُسَيم النووي ثماني القُسَيم، ليشكل حلزوناً فائقاً. تشير الأرقام (بالأحمر) إلى عدد أشفاع (أزواج) الأسس (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 980).





الشكل7 . 22. طراز لولبي افتراضي للكروماتين يتألف من ستة جُسَّيمات نووية لكل لفة من لفات الحلزون . إن حلزون DNA ، ADN المزدوج (الأحمر) يلتف حول كل جُسَّيم نووي ثماني القُسَّيم (الأزرق) (عنStryee,1995 ، المرجع 30 ، ص . 981) .

نعود الآن إلى موضوع الانتساخ . فلكي يتمكن البوليميراز من انتساخ الجين عليه أولاً أن يترابط بشريطة DNA ، ADN طليقة من الهستونات . لذلك فإن الجُسيمات النووية تتفاوت من حيث توضعها من نمط خلوي إلى آخر . فالهستونات تكشف عن مناطق من DNA ، ADN في الخلية العضلية غير تلك التي تتعرى عنها في الخلية العصبية أو الجلدية ، وهكذا . وهذه حقيقة تم استخلاصها تجريباً . ولا يكفي أن يكون الجين طليقاً من الهستونات كي يتمكن بوليميراز RNA ، ARN من انتساخه ، بل يجب أيضاً أن يكون غير مميتل بغزارة (أي غير مرتبطة به بكثرة زمر الميتيل CH3 ، (مقنعةً إياه) . هذا ، ويبين الشكل (7 . 23) صيغ كل من السيتوزين و 5- ميتيل السيتوزين (السيتوزين المميتل) ، و5- آزاسيتيدين ، الذي هو عصي على التميتل عندما يدخل في بنية DNA ، ADN . إن قرابة 70 في المئة من التسلسل سيتوزين فسفات غوانين (CpG) في جينوم الإنسان يكون مميتلاً (وبطبيعة الحال ، فإن التميتل يتناول السيتوزين فقط المتبوع بالغوانين ، ولكن ليس دائماً) . وهنا نجد تجريباً أن نظام هذا التميتل يتفاوت من خلية عضلية ، إلى أخرى عصبية ، فجلدية ، وهكذا . ولقد أمكن التأكد تجريباً أيضاً من أن بوليميراز RNA ، ARN لا يستطيع نسخ جين مميتل بغزارة .

السيتوزين

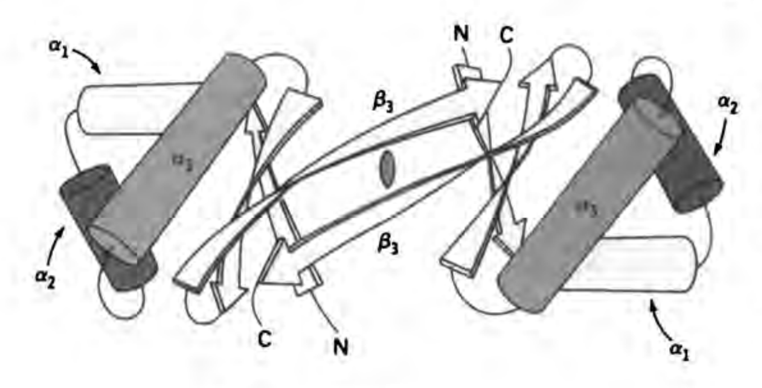
5- ميتيل السيتوزين

5- أزاسيتوزين

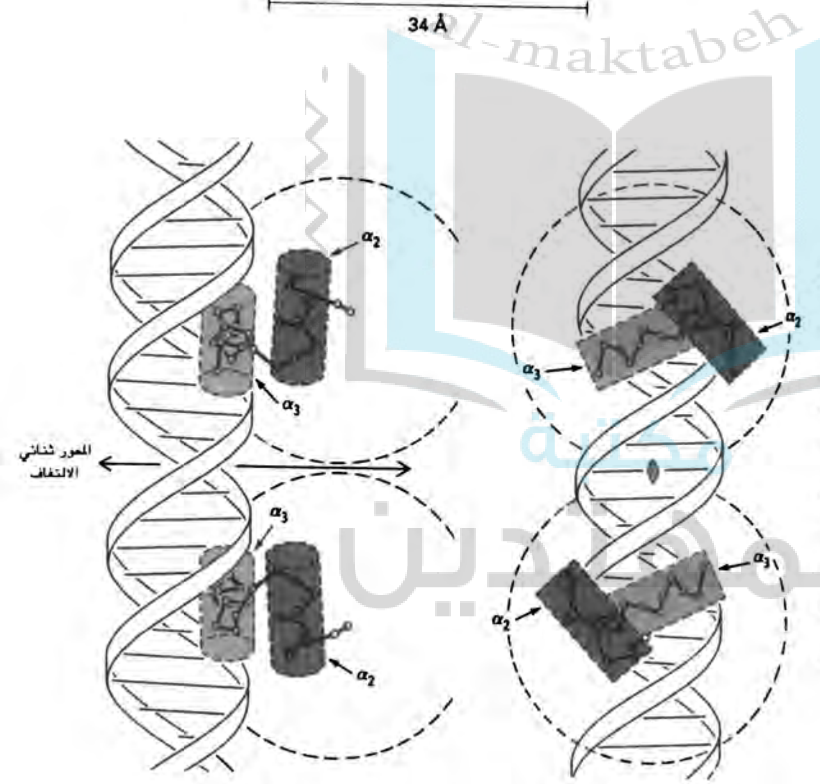
الشكل 7 . 23. تمثيل صيغ كل من السيتوزين ، و5- ميتيل السيتوزين ، و 5- أزاسيتوزين (الأساس البيريميدني لـ 5- أزاسيتيدين) . إن نواحي DNA ، ADN ذات المحتوى المرتفع من 5- ميتيل السيتوزين تكون عادة غير فعالة انتساخياً (لا يستطيع بوليميراز RNA ، ARN انتساخها إلى هذا الحمض ، أي لا تعبر عن نفسها بضبطها لتركيب بروتين معين) . عندما ينجبل 5- أزاسيتيدين في بنية DNA ، ADN ، فإن تميتله بوساطة أنزيم ترانسفيراز الميتيل يغدو متعذراً (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 998) .



وأخيراً، فحتى لو تحقق الشرط الأساسي المتمثل بمكنة بوليميراز RNA، ARN من الترابط بجين معين، نتيجة تحرره من الهستونات المؤستلة نوعياً من جهة، ومن زمرة الميتيل من جهة أخرى (سـيرورات نوعية، تختلف من نمط خلوي لآخر)، فإن الانتساخ لا يتم بالكفاية المطلوبة. إذ لا بد لمجموعة من البروتينات ذات الكتل الجزيئية النسـبية المنخفضة أن تترابط بالمحضض دائماً، وبالمعزز في أحيان كثـيرة، كي تجعل البوليمراز ينتسخ الجين بكفاية (أو فعالية) عالية (أي بسـرعة ملائمة). وتعرف هـذه البروتينات باسم عوامل الانتساخ facteures de transcription, (TF)transcription factors، ولا بد من ترابط ستة جزيئات من هذه العوامل بالمحضض أو بالمعزز، حتى يحث هذا الترابط البوليميراز على الاسراع بعملية الانتساخ، وذلك على ما يبدو بسبب تغير الشُحن الكهربائية لمنطقتي المحضض والمعزز. إن المعقد المتشكل من ترابط عوامل الانتساخ، يمتلك سطحين، أحدهما يترابط بتسلسل DNA، ADN المتمثل بالمحضض وبالمعزز، والثاني يحدث تماساً مع سطح محدد من جزيء البوليميراز ويفسفره فسفرة عالية، فينطلق هذا لينسخ الجين. إن أكثر عوامل الانتساخ شيوعاً في بدائيات النوى (البكتيريا) هو التفعيلة motif حلزون عروة حلزون (الشكل 7 . 24). أما في ما يتعلق بحقيقات النوى، فتوجد عوامل انتساخ من نمط إصبع الزنك، وسحاب اللوسين (الشكلان 7 . 25 و 7 . 26).



الشكل 7 . 24 ـ أ . مخطط ترسيمي للبنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية للتفعيلة motif حلزون ـ عروة ـ حلزون. تتألف هذه التفعيلة (كبروتين) من ثنائي قُسَيم، يتألف بدوره من وُحَيدات مثيلة (ثلاثة حلزونات ألفا (الأسطوانات)، وثلاث مُلاّت بيتا (الأسهم) (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 962).



الشكل 7 . 24 ـ ب . مخطط ترسيمي افتراضي للكيفية التي تتآثر بوساطتها التفعيلة البروتينية حلزون ـ عروة ـ حلزون مع حلزون DNA، ADN بمنظرين جانبي (اليسار) وجبهي (اليمين). إن شفعاً (زوجاً) من حلزونات ألفا لثنائي القُسَيم الذي له تناظر تناسبي، ينطبق انطباقاً محكماً وأنيقاً على ميزابتين متجاورتين من الميازيب الكُبرى لحلزون DNA، ADN. لقد تم التحقق فعلاً من صحة هذا التآثر بوساطة دراسات انعراج الأشعة السينية لبلورات المعقد بروتين ـ DNA، ADN (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 962).



A

اصبع الزنك رابط اصبع الزنك

F L C H Zn C H Y

F L C H Zn C H Y

B

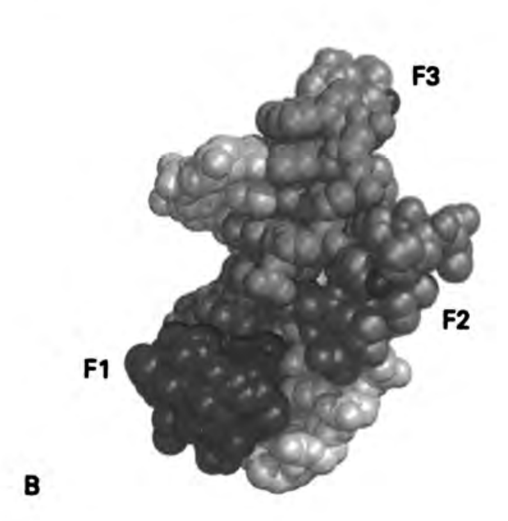
1 ■ I C S F A D ■ G A A ■ N K N W K ■ Q - A ■ L C - K ■
2 T G E K - P ■ P C K E E G C E K G ■ T S L H H ■ T - R ■ S L - T ■
3 T G E K - N ■ T ■ D S D G ■ D L R ■ T T K A N ■ K - K ■ F N R F ■
4 N I K I C V ■ V C H F E N ■ G K A ■ K K H N Q ■ K - V ■ Q F - S ■
5 T Q Q L - P ■ E C P H E G ■ D K R ■ S L P S R ■ K - R ■ E K - V ■
6 A G - - - - ■ P C K K D D S ■ S ■ V G K T W T ■ Y L K ■ V A E C ■
7 Q D - - - L A V ■ - - D V C N R K ■ R H K D Y ■ R - D ■ Q K - T ■
8 E K E R T V ■ L ■ P R D G ■ D R S ■ T T A F N ■ R - S ■ I Q S F ■
9 E E Q R - P ■ V ■ E H A G ■ G K C ■ A M K K S ■ E - R ■ S V - V ■

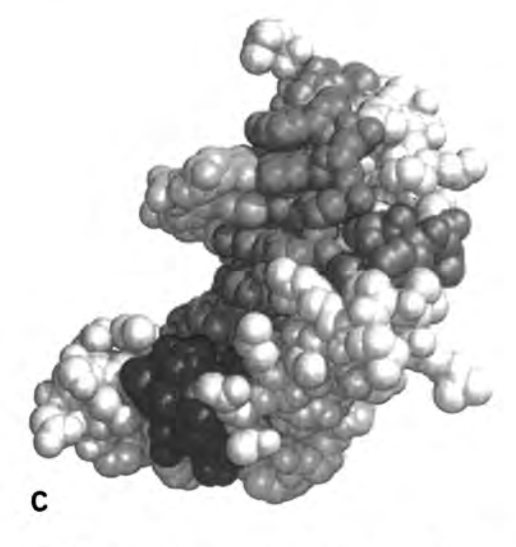
الشكل 7 .25-أ . (A) مخطط ترسيمي لتفعيلة شفع (زوج) من بروتين إصبع الزنك، يصل بينهما رابط . (B) تسلسل الحموض الأمينية لعامل الانتساخ IIIA الخاص بالحمض النووي الريبي ذي التسلسلات القصيرة(TFIIIA) ،الذي يشتمل على تسعة من أصابع الزنك . ويوضح قسما الشكل A و B أن كل إيون زنك في الإصبع الواحد، يتوضع في مركز الإصبع ، وتثبته في موضعه أربع روابط : اثنتان من السيستئين (الأخضر) ، واثنتان من الهستدين (الأزرق) . إن الثمالات الممثلة بالأصفر هي ثمالات حموض أمينية تكاره الماء ومحافظة (لا تتغير إلا نادراً) في الزمر الحيوانية كافة (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 999) .

الشكل 7 .25-ب . ثلاث طرز مليئة الأحياز (بنى فراغية ثلاثية الأبعاد وظيفية، الصفحة التالية) لكل من حلزون DNA ، ADN بمفرده (الأخضرين القاني والشاحب) (A) . وللحلزون بعد ترابطه بمقرات تعرف حلزونات أصابع الزنك وإيونات الزنك نفسها (B) ، حيث تمثل العرى F1 (الأحمر)، و F2 (الأزرق) ،و F3 (الأصفر) الأصابع الثلاث . ولطراز معقد البروتين DNA ، ADN بكامله (C) . لقد انتظمت الأصابع الثلاث للزنك في هذا الطراز الأخير على شكل ثلاثة أنصاف دوائر ، التفت حول حلزون DNA ، ADN جزئياً ، لتتوضع في الميزابة الكبرى (عنStryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 1000) ، (الشكل في الصفحة التالية) .



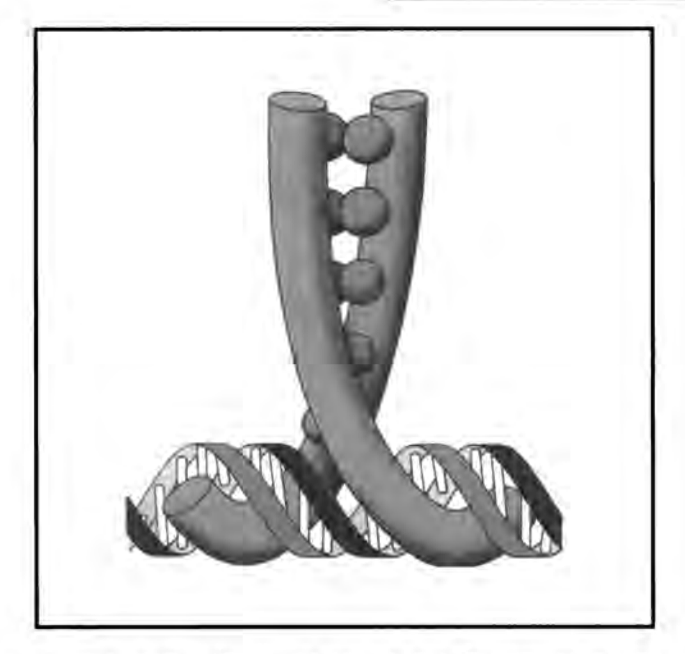






الشكل 25.7 –ب (الشرح في الصفحة السابقة، 272)



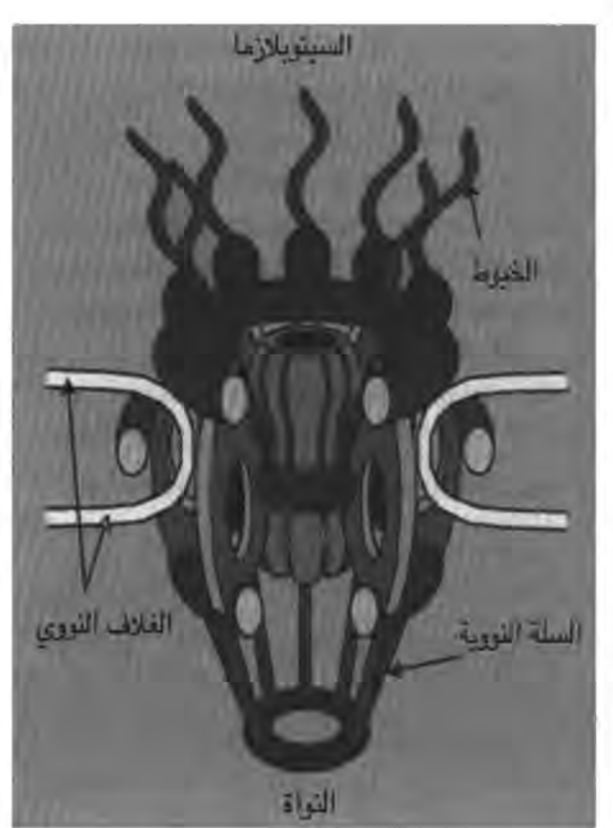


الشكل 7 . 26. طراز مليء الأحياز (البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية) لمنطقة حلزون ألفا الالتفافية لبروتين سحاب اللوسين (الأزرق والأصفر) مرتبطة بحلزون DNA ، ADN المزدوج (الأخضر والأحمر) . إن القوى (الروابط) مكارهة الماء وفان درفالس التي تنشأ عن تآثر ثمالات اللوسين (البنفسجي) فيما بينها هي التي تسبب استقرار السحاب . ويتألف السحاب من جزيئين (أي أنه يعمل كبقية عوامل الانتساخ كثنائي قُسيم)، يلتف حلزون ألفا في كل منهما حول الحلزون الآخر مرة (نصف لَفَّة) كل 3.5 ثمالة ، مما يعني أن ثمالة اللوسين تتكرر في كل حلزون مرة واحدة في لَفَّة كاملة (أي تتكرر ثمالة اللوسين مرة واحدة كل سبع ثمالات ؛ أو 3.5 × 2) . ومن هذا التـآثر بين ثمالات اللوسين اشتق اسـم هذه التفعيلة (أي « سـحاب اللوسين ») . وكما يتضح من البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد ، فإن للتفعيلة شكل حرف Y « مقلوب » ، حيث يؤلف السحاب جذع الحرف ، في حين أن الساقين يحويان في نهايتيهما (النهايتان الأمينيتان) تسلسلين يتألف كل منهما من قرابة 30 ثمالة أمينية أساسية (قلوية) التفاعل (أي موجبة الشحن) ، تترابطان بحلزون DNA ، ADN حمضي التفاعل (أي سلبي الشحن) . ولدى الترابط بحلزون « واتسون ـ كريك » ، يتشكل السحاب في الجذع ، وتغدو وظيفة الساقين تقريب تسلسلين (يقرأ كل منهما طرداً وعكساً ويعطي المعنى نفسه) من تسلسلات DNA ، ADN من بعضهما البعض كي يتم انتساخهما (أي كي يعبران عن نفسيهما) (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 1003) .

كما أن البروتينات المثلية وعوامل النمو كافة تعمل كعوامل انتساخ، ولقد اتضح وجود تسلسل في وسط جين 5S RNA (الحمض الريبوزومي الأصغر كتلة للحبيبة الكبيرة) يتألف من 45 نكليوتيداً، ويرتبط به عامل الانتساخ IIIA(TFIIIA) من نمط إصبع الزنك. وما إن يرتبط TFIIIA بالنكليوتيدات الخمسة والأربعين من الجين، حتى يسارع العاملان TFIIIC و TFIIIB للترابط بالمعقد المتشكل، وكذلك البوليميراز III، التي تعمل آنذاك على انتساخ جين 5S RNA بكفاية (بفعالية) عالية، بسبب الفسفرة التي تصيبها. وتجدر الإشارة إلى أن عوامل الانتساخ تعمل كثنائيات قُسيم dimères ، dimeres (أي يترابط جزيئان من كل عامل انتساخ بالتسلسل الهدف من الجين). ولقد أُعطيت عوامل الانتساخ الأرقام الرومانية I و II و III، وذلك وفقاً لرقم البوليميراز الذي تفعله. إن البوليميراز I ينتسخ الحمض الريبوزومي، والبوليميراز II ينتسخ الحمض الرسيل، والبوليميراز III ينتسخ الحموض الناقلة، و5S RNA ، والحموض الريبية الأخرى قصيرة التسلسل). إن عوامل الانتساخ تترابط نوعياً في النمط الخلوي الواحد على نحو يختلف عنه في أي نمط خلوي آخر. ولا بد من الإشارة أخيراً إلى أهمية المَسَمّ pore (الثقب) النووي الذي يرصع غشاء النواة. وتشير الأبحاث التي تُجرى حالياً إلى الدور الأساسي الذي تؤديه هذه البنية في عمليات تَنَسّخ DNA ، ADN وتصليحه وانتساخه إلى RNA ، ARN ، أي في سيرورتي الانقسام والتمايز الخلويين. ومع أن حجم المَسَمّ الواحد يزيد عشرين مرة على حجم الريبوزيم (الريبوزوم)، فإنه يتألف فقط من 30 نوعاً مختلفاً من البروتين، في حين أن الريبوزيم (الريبوزوم) يشتمل على 75 نوعاً من البروتين. وقد ترجع الأهمية الوظيفية للمَسَمّ النووي (الذي يتحكم بمرور المواد من السيتوبلازما إلى النواة وبالعكس، ويؤدي هذا الدور الحاسم في حياة الخلية ونظامية وظائفها)، قد ترجع هذه الأهمية إذاً إلى تعقد بنية المَسَمّ التي تأخذ شكل السلَّة (الشكل 7 . 27).









الشكل 7 . 27. مخطط ترسيمي (القسم الأيسر) للمَسَمّ (الثقب) النووي الذي يأخذ شكل السَلَّة . تتألف هذه البنية المعقدة من 30 بروتيناً فقط ، تشكل وُحَيدة أساسية تتكرر 16 مرة . وبالإضافة إلى هذه الوُحَيدات الست عشرة ، فإن المَسَمّ يشتمل على بنى ليفية توجد على جانبي المَسَمّ النووي والسيتوبلازمي . وتترابط هذه الليفات البنيوية في الجانب النووي لتشكل السَلَّة النووية . أما القسم الأيمن من الشكل ، فيمثل خريطة لمواقع بروتينات المَسَمّ النووي بالنسبة لمحور مركزي (R) ، ولمستو يمر في مركز المعقد ومواز لغلاف النواة (Z) . تمثل الدوائر الخضر والرمادية بروتينات ذات توضع تناظري ، ويشكل كل تجمع قوسي منها خيال مرآة لتجمع آخر في كلٍّ من وجهي الغلاف . أما البروتينات اللامتناظرة ، فتم تمثيلها بالأحمر والأزرق . وتمثل الدوائر القرنفلية بروتينات غشاء النواة التي تدخل في بِنية معقد المَسَمّ النوي وتدعم شكل السَلَّة [عن Blobel,G.and Wozniak, R. W., Nature **403**,835-836 (2000)] .

وأخيراً، إذا أردنا أن نُعَرِّف التعبير الجيني التفاضلي تعريفاً تلخيصياً نقول : إن الجينات التي تكون طليقة تقريباً من الهستونات المؤستلة تفاضلياً، ومن زمر الميتيل ، يستطيع البوليميراز من الترابط بها بسبب ترابط عوامل انتساخ معينة بالمحضض وبالمعزز . وتختلف الجينات الطليقة من نمط خلوي إلى نمط آخر . كما أن عوامل الانتساخ التي تترابط بتسلسلات ذات صلة بالجين تكون هي الأخرى نوعية، إنْ من حيث الطبيعة ، أو من حيث نقطة الترابط . وبناء على ذلك، يمكن فهم السيرورات التي تؤدي إلى تكوين أنماط خلوية ذات بنى ووظائف متباينة بدءاً من خلايا ، تحتوي على الجينات نفسها وعلى الهستونات المؤستلة تفاضلياً. ولابد من الإشارة هنا إلى أن فعل عوامل الانتساخ، وظاهرة التمتيل، وتغيير العلاقة بين الكروماتين والهستون H1 (كما يحدثه عامل الانتساخ TFIID)، أو بين الكروماتين والجُسيم النووي، إن هذه السيرورات والتأثرات كلها، تُستهل، في مايتعلق بالتعبير الجيني التفاضلي ليس بفعل جزئيات عضوية عادية (كحمض الريتينونيك في تشكل الطرف مثلاً)فحسب، بل حتى بإيونات شائعة جداً، كما يحدث في تأثير الإيون HCO_3^--(الكربونات الحمضية) التي لاغنى عنها من أجل **حركية النطاف ووسعها** capacitation، **وتفعيلها**؛ أي من أجل الحفاظ على النوع [انظر الشكل التالي من المرجع : Kaupp, U.B. and Weyand, I., Scienee **289**,559-560 (2000)] . ومع أن هذه المعارف ما تزال في بداياتها، فلقد مهدت السبيل إلى فَضِّ بعض ألغاز الحياة، وفهم (ولو جزء بسيط) من أسرارها المستغلقة. (الشكل28.7) ، (الشكل في الصفحة التالية).



الشكل 28.7 مثال على تحكم جزيئات بسيطة وشائعة بمصير النوع . مخطط ترسيمي، يبين كيف إن إيونات الكربون الحمضية (HCO^-_3)، تضبط تأشير أحادي فسفات الأدينوزين الحلقي ((cAMP) في النطفة ، ويؤدي إلى ثلاث سيرورات يتوقف عليها الإخصاب ، وهي : **التمكين** capacitation **والتحرك** motilite,motility **والتفعيل** activation (انظر النص) . تدخل هذه الأيونات النطفة بوساطة ناقل للإيونات ، يوجد في الغشاء البلزمي للنطفة، فتفعل سيكلاز الأدينيليل (الأدينيل) الحلقي الذوّاب (SAS) ، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تركيب الجزئ التأشيري cAMP . تحُلمه (تُشطر بتوسط الماء) SAS إلى ثلاث شدف (قطع) (الجزء المفصل في الزاوية اليسرى السفلية) . إن من بين هذه الجزيئات التي تستهدفها cAMP أنزيم هو كيناز البروتين (PKA) (أنزيم يفعّل بر وتينات معينة) الذي يفعِّل بدوره قناة استقطاب مفرط ، يغلقها نكليوتيد حلقي (HCN) وتوجد في الغشاء البلزمي للنطفة. تنفتح عندئذ القناة ، وتدخل إيونات الصوديوم الضرورية لحدوث الاستقطاب في غشاء النطفة . كما أن زوال هذا الاستقطاب، يؤدي إلى تدفق إيونات الكلسيوم عبر قناة من النمط T .

[عن Kaupp.U.B.and. Weyand, T., Science **289**, 559-560(2000)].



← ويبقى على أبحاث المستقبل أن توضح لنا آلية البرمجة التي يسير وفقاً لتفصيلاتها الكائن الحي في أثناء تكونه، بدءاً من البيضة المخصبة حتى تشكل الفرد البالغ، حيث تحدث في كل لحظة سيرورات محددة تماماً في متصلة المكان-الزمن ذات الأبعاد الأربعة. وتتم هذه السيرورات كنتيجة حتمية لما سبقها، وكمرحلة حتمية وتمهيدية أيضاً لما سيعقبها. وعلى هذه الأبحاث أن تبين ثبات مخطط التكون بأدق تفصيلاته، ثباتاً يكاد يكون مطلقاً. فبالإضافة إلى ثبات تكون أفراد النوع الواحد (أفراد النوع البشري مثلاً) ثباتاً صارماً، فإن تشكل الأعضاء بخلاياها ونسجها، وبناها وأشكالها بالأبعاد الثلاثة، والثبات المطلق تقريباً لهذه الخصائص، يبقى أحد الألغاز الكبرى في البيولوجيا. ولكي نوضح بعض هذا الثبات (الذي يلامس الحتمية determinism، déterminisme ملامسة المتسائل الموضوعي)، نذكر أن الشريان الذي ينقل الدم إلى عضو من الأعضاء (كالذراع مثلاً) يسير في المسار نفسه، وبالبنى ذاتها، منذ أن ظهر الإنسان (وقبله الثدييات) حتى الآن دون أن ينحرف عن هذا المسار ولو بالمعايير الصغرية. ولا يمكن فهم هذا اللغز، والألغاز الأخرى المشابهة (حدوث الانفجار الأعظم في نقطة تقل أبعادها عن طول بلانك، وتتجاوز حرارتها حرارة بلانك -جداران لا يمكن تخطيهما فيزيائياً-، وموءمة ثوابت الطبيعة بعضها لبعض موءمةً تصل بدقتها الرقم 18 بعد الفاصلة، والثبات المطلق لقوى الطبيعة الأربع، وتشكل مناطق في الكون الوليد تبلغ الفروق في كثافاتها جزءاً واحداً من مئة ألف جزء، وألغاز أخرى كثيرة)، لا يمكن فهم هذه الألغاز إلا بقبول حدوث تطور موجه من الأبسط إلى الأعقد من حيث البنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداءً وكفايةً من حيث الوظيفة. تطورٌ ذو معنى، تقوده القوى الطبيعية الأربع والقوى التكافؤية واللاتكافؤية، التي انبثقت عنها (أساس الانتقاء الطبيعي الموجه)، تطور لا مكان للمصادفة فيه، يوصل إلى نشوء حياة ذكية، يكون فيها الإنسان خليفة الله في الأرض. **فمن المعلوم أن التطور الموجه، يقوم على الأسس التالية:**

1- تنسّخ الجينات (المعلومات) مرات عديدة، وهذا مايعرف بالانقسام أو التكاثر أو التوالد.

2- اختلاف، أو تغير بعض الجينات (المعلومات) وهذا هو الطفر.

3- انتقاء بعض الجينات المتخالفة أو المتفاوتة على حساب جينات أخرى.

وهذا هو الانتقاء الطبيعي، محرك التطور الموجه ذي المعنى.

وعلى الرغم من أكداس الدراسات التي أُجريت، فلم يتم حتى الآن التوصل إلى براهين راسخة على حدوث الانتقاء الطبيعي بالمفهوم الدارويني. في حين أن التطور الموجه اللاتصادفي (ذا الغاية المحددة، المتمثلة بظهور الإنسان -خليفة الله- في الأرض)، الذي يتضح بإلفة الذرات والجزيئات [انظر أهمية ثابت الترابط Ka في الفقرة 1.2.8، ودوره في هذا التطور ذي المعنى، لتشكل هذه الذرات والجزيئات أجسام وبنى (لاحية وحية)، يتزايد تعقيدها من حيث البنية، ويتزايد أداؤها من حيث الوظيفة، وحيث تحكم هذا التشكل القوى الطبيعية الأربع، والقوى التكافؤية واللاتكافؤية (إرادة الله)، إن هذا التطور الموجه، الذي اخترق جداري (بلانك)، وسار بعكس الأنتروبية والشوش، يقدم -على المستويين الذري والجزيئي، وعلى مستوى الكائنات الحية وبناها، وتتواءم فيه آلاف الثوابت الطبيعية-، إن هذا التطور الموجه يقدم إذاً تفسيراً أنيقاً للانتقاء الطبيعي، الذي تُوِّج بظهور الانسان، فأعطى للكون وللوجود معنى. فلولا الانسان، يبقى الوجود والكون وتطورهما مجرداً من أي معنى.



الفصل الثامن

الخلية والإنسان

"A loveless world is a dead world , and always there comes an hour when one is weary of prisons , of one' s work, and of devotion to duty, and all one craves for is a loved face , the warmth and wonder of a loving heart. "

Albert Camus (1913-1960),"La Peste", " The Plague" (1947), Nobel Prize 1957.

«إن عالماً بلا حب هو عالم ميت، وهنالك دائماً لحظة يكون المرء فيها مرهقاً من سجنه الشخصي، ومن عمله، ومن تفانيه في واجباته، وكل ما يتوق له عندئذ هو تأمل وجه يحبه، روعة ودفء قلب محب».

«ألبير كامي» (1913-1960)، « الطاعون » (1947)، جائزة نوبل 1957.

(نلتمس العذر من القارئ لورود الاقتباس بالإنكليزية)

« لـم تبقَ منا يـا فـؤادُ بقيةٌ ... لـصَبـابةٍ أو فَضلةٌ لـعـراكِ
كنا إذا صفـقتَ نستبقُ الهوى ... ونشـدُّ شدَّ العُصبـة الفُتـاكِ
واليـومَ تبعثُ فيَّ حينَ تهزُّني ... مـا يبعثُ الناقوسُ في النسَّاكِ»

«أحمد شوقي» (1868-1868)، «زحلة».

خُلقت المادة من الطاقة في أثناء الانفجار الأعظم، ومعها ولدت القوى الطبيعية الأربع نتيجة تبرد الكون الوليد وحدوث ثلاثة انتقالات طورية متلاحقة. ونشأت هذه القوى اعتباراً من قوة متفردة وحيدة ذات بنية وترية غشائية حويصلية، وولدت معها متصلة المكان-الزمن ذات الأحد عشر بعدا. ولقد أشرنا في ماسبق (يرجع إلى المقدمة، ص. 24) إن المادة والطاقة كما نعرفهما، تشكلان الكون القابل للرصد، ويؤلف 5 في المئة فقط من الوجود. أما الغالبية العظمى من الوجود (95 في المئة)، فيتألف من مادة باردة مظلمة، ومن طاقة معتمة، لانعرف عن أي منها شيئاً.

كما خُلقت في الوقت نفسه الثوابت الطبيعية المعروفة (كتل الجُسيمات العنصرية وشحنها الكهربائية، وسرعة الضوء، والعلاقة بين الطاقة والمادة، وغيرها كثير). وتكوَّنت من الجُسيمات العنصرية نوى العناصر، فالعناصر نفسها في إثر أسر النوى لإلكتروناتها. وكان حجم الكون، في إثر انقضاء مليار عام على ولادته، مساوياً تقريباً لحجمه الحالي. ولدى تكون المجموعة الشمسية قبل 4.6 مليار عام، ظل المطر يتساقط على سطح الأرض قرابة خمسمئة مليون عام، وتشكل الحساء البدائي، فتشرّبه الصلصال. كانت كل هذه التحولات تحدث **(بتأثير من القوى التكافؤية واللاتكافؤية**



المسؤولة عن الانتقاء الطبيعي الموجه)، لتنقل البنية من الأبسط إلى الأعقد، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية، وفق تطور ذي منطق موجه وغاية محددة محتومة، وذلك سعياً إلى نشوء حياة ذكية، يصبح الإنسان فيها خليفة الله في الأرض. *وعدَ اللهُ الذين آمنوا منكم وعملوا الصالحاتِ ليستخلفنَّهُمْ في الأرض كما استخلفَ الذين من قبلهمْ* [سورة النور/ 55].

وكنتيجة لهذا التطور الموجه، تكّون الماء ومركبات الكربون والفسفَات، وولّدتَ من القوى الأربع للطبيعة، والقوى (أو الروابطَ) التكافؤية المسؤولة عن اتحاد العناصر بعضها ببعض لتعطي المركبات الكيميائية المختلفة، المعدنية منها واللامعدنية. كما ولّدَ أيضاً القوى (أو الروابطَ) اللاتكافؤية الأربع المسؤولة عن حدوث تفاعلات كيميائية عكوسة (قابلة للعكس)، فأدَّت هذه القوى دوراً رئيساً في نشوء الحياة على الأرض. ويمكن اختزال نشــوء الحياة على سطح الأرض في أربع نــواحٍ، هي:

1. البنية المستقطبة لجزيء الماء (الناجمة عن بقاء شفعين -زوجين-من إلكترونات الأكسجين طليقين)،
2. الروابط الأربع اللينة لعنصر الكربون،
3. وجود زمرة الفسفات وخصائص هذه الزمرة،
4. وجود الفورم ألدهيد، وحمض السيانيدريك، والأشعتين فوق البنفسجية وتحت الحمراء.

وبالنظر إلى أن عنصر السيليسيوم يشبه كثيراً عنصر الكربون (يقع بجواره عمودياً في جدول مندلييف الدوري للعناصر، وله أربع روابط تكافؤية . . .)، فقد أنشأ هذا العنصر عالم بلورات الصلصال (عالم بلورات السيليكات). ومع أن هذه البلورات تستقلب (تأخذ من الوسط مواد تضيفها لمادتها)، فتنمو، وتنقسم (تتكاثر). ومع أن بوسعها أن تغير شكلها (تطفر) بسبب عيوب ميكانيكية وكيميائية في بنية البلورة، وعلى الرغم من أنها تمتلك المقدرة على الاحتفاظ بالمعلومات الضرورية للتنسخ وتكوين الأجيال القادمة (وتتمثل هذه المعلومات بنمط توزع الشِّحن الكهربائية على سطح البلورة)، على الرغم من هذا كله لم تتمكن بلورات الصلصال من التطور والارتقاء إلى مستوى أعلى من حيث البنية والوظيفة (الأداء). وهكذا، بقيت بلورات السليكات على ما هي عليه. ويرجع السبب الرئيس لهذا الإخفاق إلى أمرين:
الأول قساوة الروابط الأربع التي يقيمها السيليسيوم مع العناصر التي يرتبط بها،
والثاني إخفاق السيليسيوم في تكوين مركبات عطرية حلقية يدخل في بنيتها عنصر الآزوت.

وما إن تمكن الكربون من تكوين المركبات العطرية، وما إن أصبحت سرعة تنسخ هذه المركبات أكبر من سرعة تكاثر بلورات الصلصال، حتى انتزعت المركبات الكربونية من المركبات السيليسية زمام المبادرة، وسادت على سُلُفِها، مستعيرة منها تقانتها الخفيضة، لتبني عليها تقانة رفيعة أشد تعقيداً، وأفضل أداء. وهكذا حُكم (بالانتقاء الطبيعي الموجه) على تطور بلورات السيليكات بالانجماد، وبقيت على ما كانت عليه دونما تغيير: من حيث النمط « الجيني »(ممثلاً بتوزع الشِّحن على سطح البلورة)، و من حيث «النمط الظاهري» (ممثلاً بشكل البلورة).

ونذكر من بين الأسباب الرئيسة لسيادة حياة الكربون قواه أو روابطه التكافؤية الأربع اللينة، ومقدرته على تكوين مركبات عطرية يدخل في تركيبها عنصر الآزوت. كما أن وجود زمرة الفسفات في الوسط، وكذلك خصائصها الكيميائية والتحفيزية، أسهم في سيادة حياة الكربون. وقد انبثق عن هذه السيادة ظهور عالم الحمض النووي الريبي، وذلك قبل أكثر من 2.4 مليار عام (كان عمر الأرض آنذاك 400 مليون عام). ويعزى السبب الرئيس في نشوء هذا العالم إلى وجود الفورم الدهيد (ومحلوله في الماء هو الفورمول)، وحمض السيانيدريك في جو الأرض وفي حسائها البدئي، وأيضاً لوجود الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء الصادرتين عن الشمس، ولوجود الماء بطبيعة الحال. لقد بقي هذا الماء سائلاً (لم يتبخر كما هي الحال على عُطارد وفي جوه، ولم يتجمد كلياً كما هي الحال على الزُهرة وفي جوها) بسبب المسافة الفضلى التي تفصل الأرض عن الشمس (ثماني دقائق ضوئية وسطياً).



وكما هو معروف، فإن الفورم الدهيد وحمض السيانيدريك هما مركبان شديدا الفاعلية، وتعمل الأشعة فوق البنفسجية (وربما الأشعة السينية وأشعة غاما) على زيادة هذه الفاعلية، مسببة تكون عدد كبير من المركبات، بدءاً من الفورم الدهيد، وحمض السيانيدريك، والكحولات الحلقية العطرية (الكينونات)، والعادية الخطية، والإيترات. ولقد تشكلت هذه الجزيئات نتيجة فعل الإشعاع في المركبات الهدروكربونية العطرية عديدة الحلقات، التي توجد في جو الأرض بكمية كبيرة نسبياً (أكثر من 20 في المئة من كتلة الكربون الكلية).

بناءً على هذا العرض السريع لمادة الفصل السابق، نعود أيضاً لنلخص الفرضية التي اقترحناها شخصياً حول نشوء الحياة، والتي تنطوي على الخطوات التالية، مؤكدين أن الانتقاء الطبيعي الموجه (محرك تطور الأحياء)، يحدث بسبب فعل القوى التكافؤية واللاتكافؤية (الألفة بين الذرات، وبين الذرات والجزيئات، وبين الجزيئات في مابينها) التي انبثقت عن القوى الطبيعية الأربع (إرادة الله):

أولاً. حلت مركبات الكربون مكان مركبات السيليسيوم في عالم بلورات الصلصال بسبب تفوق المركبات الكربونية على المركبات السيليسية في ما يتعلق بسرعة التنسخ. ونجم عن هذه السيادة لعالم الكربون إيقاف تطور عالم السيليكات.

ثانياً. أفادت مركبات الكربون من آليات التقانة الخفيضة لعالم بلورات الصلصال، فبنت على صورتها ومثالها تقانة رفيعة أعقد بنية وأشد أداء وكفاية (وفقاً لـ «كيرن-سميث»). كما أفادت مركبات الكربون أيضاً من بلورات السيليكات باتخاذ سطوح هذه البلورات كنقاط ارتكاز، تُمتز عليها المواد الكربونية العضوية المتفاعلة، مما يؤدي إلى ازدياد تدريجي لنتاج تفاعلات هذه الجملة المفتوحة، يقيها من عكوسيتها (أي لا يعود ناتج التفاعل إلى التفكك من جديد). ذلك أن وجود تراكيز منخفضة من المواد المتفاعلة وتراكيز مرتفعة ومستمرة من ناتج التفاعل، يؤدي عادة إلى عكوسية التفاعل، وتفكك ناتج التفاعل إلى مكوناته، ولكن ظاهرة الأمتزاز تعكس وضع الجملة، وتصونها من هذا التفكك.

ثالثاً. في إثر تكون الريبوز، والأسس الآزوتية العضوية، البورينية والبيريميدينية الأربعة (الأدنين، والغوانين، والسيتوزين، واليوراسيل)، وبوجود الفسفات، تشكلت النكليوتيدات الأربعة. ولقد تشكل الريبوز، كما تشكلت الأسس الأربعة، بدءاً من مشتقات الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات في ما يتعلق بالريبوز، ومن الفورمالدهيد وحمض السيانيدريك في ما يتعلق بالأسس الآزوتية العضوية الأربعة. أما الفسفات، فأتت من تأثير المطر البدئي ذي التفاعل الحمضي في الصخور، حيث أذاب المطر هذه الزمرة، وحملها معه.

رابعاً. لدى تكوثر النكليوتيدات (أي ارتباط بعضها ببعض كلبنات البناء)، تكونت طلائع الحمض النووي الريبي، التي تطورت، لتشكل جزيئاً كاملاً من هذا الحمض. ويتمتع هذا الجزيء بالمقدرة على التنسخ (النمط الجيني)، وعلى إنجاز تفاعلات ربط وشطر ذاتي (النمط الظاهري). **أي أن جزيء RNA، ARN اشتمل (بنيته ووظيفته) على النمط الجيني، وعلى النمط الظاهري في آن واحد**. وهكذا ظهر عالم الحمض النووي الريبي، وأدّى ذلك تلقائياً (نتيجة الانتقاء الطبيعي الموجه) إلى احصار (إيقاف) تطور عالم بلورات الصلصال، على الرغم من أنها أدّت دوراً أساسياً في نشوء عالم RNA، ARN.

خامساً. كان عالم الحمض النووي الريبي يشتمل على المواد كافة التي يحتاجها قيام الحياة (الاستقلاب، والنمو، والتنسخ، والتنوع) بنمطيها الجيني، والظاهري.

سادساً. في إثر نشوء عالم الحمض النووي الريبي، غدا بالإمكان ظهور الجزيئات البروتينية. لقد اشتقت الحموض الأمينية التي تشكل لبنات بناء البروتينات من تأثير الإشعاع في الحساء البدئي. وكان هذا الحساء يحوي الهدرجين، والميتان، والأمونياك (النشادر)، منحلة كلها في الماء. وكان الحساء البدئي يحوي أيضاً مشتقات الهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات (كالكحولات الحلقية العطرية -الكينونات- والخطية العادية المفتوحة، والإيترات ...). كان جو الأرض، وكذلك حساؤها البدئي إذاً ذوي خصائص مرجعة ضعيفة (بسبب وجود الهدرجين، والميتان، والأمونياك، وغياب الأكسجين). وتشكلت الحموض الأمينية البسيطة من تفاعل مواد الحساء البدئي، وتكونت المعقدة منها بدءاً من



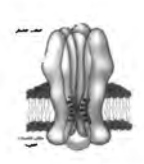
بعض الأسس الآزوتية العضوية (كاشتقاق الحمض الأميني الآرجينين من أساس الغوانين (يُرجع إلى الشكل 7 .10).
ويحق لنا أن نقترح أيضاً أن جزيئات نوعية من RNA، ARN قامت بتشكيل بعض الحموض الأمينية (أو معظمها) بتفاعلات تحفيزية مماثلة لتفاعلات تكوين الحموض الأمينية التي تتم حالياً في أجسامنا. وقد تكون سطوح بلورات الصلصال، أو سطوح مواد أخرى، أدّت دوراً إمتزازياً لوقاية نتاج التفاعلات التركيبية من عكوسية.هذه التفاعلات، تماماً كما حدث فيما يتعلق بتكون لبنات بناء جزيء RNA، ARN.

سابعاً. ما إن تكونت الحموض الأمينية الأولى (وقد يكون عددها في البداية ما بين 6 إلى عشرة حموض أمينية)، حتى تولى جزيء نوعي من RNA، ARN عملية تكوثرها (أي ربط بعضها ببعض بوساطة الرابطة الببتيدية).

ثامناً. أفاد الحمض النووي الريبي من وجود البروتينات، فشكل معها بنى ذات أداء وظيفي أفضل. وهكذا نشأت أنواع الريبوزيمات (حامل بروتيني لتسلسلات تحفيزية أنزيمية قصيرة من RNA، ARN)، بما في ذلك الريبوزومات (أدوات ترجمة الحموض النووية الريبية الرسل)، والتيلوميرات (البنى التي ستستعمل في إغلاق نهايات صبغيات حياة DNA، ADN). وبالإضافة إلى الفيروسات المغايرة (كفيروس عوز المناعة البشري، وفيروس فسيفساء التبغ)، فإن هذه البنى استمرت في عالمنا الحالي (عالم DNA، ADN)، ونجت من الانقراض الذي أحاق بعالم RNA، ARN، وبقيت كشواهد حية على « حضارة » هذا العالم. كما بقيت مشتقات من هذا الحمض لتؤدي دوراً مهماً في السلسلة التنفسية، واشتقاق الطاقة الضرورية لحياتنا، واختزانها على شكل نكليوتيدات ريبوزية ثلاثية الفسفات (مثل ATP، و GTP)، ونقلها بنكليوتيدات ريبوزية أخرى (كثنائي نكليوتيد أدنين النيكوتيناميد NAD، وثنائي نكليوتيد أدين الفلافين FAD).

تاسعاً. ولكن بالنظر إلى عدم مقدرة الحمض النووي الريبي على التنسخ السريع من جهة، والهشاشة الفيزيائية لجزيء هذا الحمض من جهة أخرى (لعدم تمكنه من تشكيل حلزون مزدوج بسبب وجود الأكسجين في زمرة الهدروكسيل للكربون الثاني في الريبوز، حيث إن هذا الأكسجين يحمل شحنة سلبية، تتنافر مع الشحن السلبية الثلاث لزمرة الفسفات، الأمر الذي يحول دون تشكل حلزون «واتسون»-«كريك»، فقد أدّى الانتقاء الطبيعي الموجه إلى تكون جزيء، تم به استبعاد هاتين الخاصتين اللاتنافسيتين، وطور جزيء RNA، ARN، بتقانة أكثر رفعةً، جزيئاً أسرع تنسخاً وأصلب بنية. وهكذا ظهر عالمنا الحالي عالم DNA، ADN. وكان الانتقال من العالم الأول إلى العالم الثاني سلساً ويَسراً. كان يكفي أن يحل أساس التيمين في العالم الجديد محل اليوراسيل، ويُرجع الريبوز (بنزع ذرة أكسجين واحدة) إلى ريبوز منزوع الأكسجين، ويقوم ريبوزيم أو أنزيم مماثل لأنزيم الانتساخ العكسي reverse transcriptase، transcriptase de réverse بانتساخ RNA، ARN، محولاً إياه إلى DNA، ADN.

عاشراً. أفاد حلزون DNA، ADN المزدوج (على غرار ما أفاد منه جزيء RNA، ARN) من وجود البروتينات، ليرتبط بخمسة منها (أنواع الهستونات)، ويشكل بنى، عرفت بالكروماتين. وكانت الفائدة هنا ثلاثية الأوجه: 1. المساعدة على الارتزام كي تتشكل الصبغيات التي تجعل (بخصائصها الفيزيائية) انقسام الخلية ممكناً. 2. الإسهام في برمجة الفاعلية الجينية في المكان والزمن، بحيث يصبح بالإمكان حدوث التعبير الجيني التفاضلي (كما سبق أن عرضنا لذلك في الفقرة 7 .6). 3. تنظيم التعبير الجيني التفاضلي بوساطة حادثتي التمتيل والأستلة التفاضليتين، وفعل عوامل الانتساخ البروتينية التي ترتبط بتسلسلات بعينها من DNA، ADN (يرتبط التسلسلان التوافقيان العامان تاتا TATA، وكات CAAT في ناحيتي التسلسلين في DNA، ADN المعروفين بالمحضِّض والمعزِّز). وكما سبق أن أشرنا، فإن RNA، ARN استمر في عالمنا الحالي كأداة لتحويل النمط الجيني كرموز (جينات DNA، ADN) إلى نمط ظاهري (أي إلى بروتينات، تكوّن الجسم بنيةً ووظيفة).

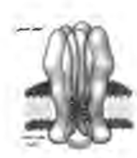


يمكننا الآن بعد هذه المقدمة التي توخينا أن تكون ملخصاً مكثفاً لفرضية نشوء الحياة - كما عرضنا لها واقترحناها في الفصل السابق- ، يمكننا أن نعالج فقرات هذا الفصل ، علماً بأن تكون الغشاء الخلوي حول أكداس من معقدات بروتينية نووية ريبية لم يطرح أي مشكلة تطورية يصعب حلها تقنياً ، وذلك بالنظر إلى ما سبق أن أشرنا إليه في ما يتعلق بسهولة تشكل الليبوزومات (الجُسيمات الشحمية ، يُرجع إلى «سادساً » من الفقرة 7 .5) ، وبناءً على بنية الليبيدات الفسفورية التي تشكل بنية الغشاء البلزمي للخلية ، وبخاصة الفسفاتيديلكولين • phosphatydilcholine (أو الليسيتين lecithin) .

8 .1. الانتقال من بدائيات النوى إلى حقيقيات النوى

يصنف الباحثون الكائنات الحية في أنماط قد تنطوي فيما بينها على بعض الاختلاف (وفقاً للمعْلَم المعتمد في التصنيف ، سواءً من الناحية الشكلية أو الجزيئية) ، إنما تبقى عموماً ضمن منهجية واحدة ، بحيث يقوم النمط التصنيفي على مبلغ التشابه ، أو التغاير في المعلم المعتمد . فقد يقوم التصنيف على مجموعة صفات أو بنى ظاهرية ، أو يعتمد على مبلغ التشابه في تسلسل الحموض الأمينية لبروتين ما ، أو في تسلسل نكليوتيدات أحد الحموض النووية . ويمكن القول عموماً إن الكائنات الحية الحالية (التي تنتمي إلى عالمي DNA ، ADN ، والبروتينات) ، تكون إما على شكل بدائيات النوى (أي أن الخلية الواحدة منها ، تتألف من غشاء خلوي ، يفصلها عن الوسط الخارجي ، ويحصر في داخله مواد استقلاب الخلية ونموها وتنسخها في حيز واحد . وبمعنى آخر ، فإن داخل الخلية مشاع لكل ما فيه ، ولا توجد فيه تخصصات مكانية متميزة) . إن أنـواع البكتيريا العادية غير المرضة (الشـــكل 8 .1) والممرضــة ، وأنواع البكتيريـا

الشكل 1.8 (الشرح في الصفحة التالية)



الشكل 8 . 1 ـ أ . مخطط ترسيمي مقارن بين خلية حقيقية النواة (اليسار) وخلية بدائية النواة (أو بكتيرة أساسية لحياة الخلية حقيقية النواة) هي الكـــوندرية (اليمين) . لاحظ كيف أن المـــادة الوراثية في الخلية بدائية النواة قد أخذت شكل حلقة من DNA ، ADN (انظر الشكل 8 . 3) هي البلزميد الذي يكون عارياً تقريباً من البروتينات التي تشـــكل قسماً بنيوياً ووظيفياً من صبغي الخلية حقيقية النواة . لقد أوردنا في هذا الشكل للكوندرية كمثال عن بدائيات النوى التي هي ليست غير ممرضة فحسب إنما تمثل بنية تعايشت تعايشاً تكاملياً مع الخلية حقيقية النواة، بحيث أصبح كـــل منهما لا يستـــطيع البُقيا (البقاء على قيد الحياة) دون الآخر . لاحظ غياب الأهداب في الكونـدرية نتيجة لحياة التعايش (انظر الفقرة 8 . 1 . 1) (الشكل عن ,Doolittle,1998 المرجع 57 ، ص . 44) .



الشكل 8 . 1 ـ ب . صورة تألقية بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) للإشريكية القولونية *Escherichia coli* كبكتيرة (خلية بدائية النواة) غير ممرضة تعيش عادة في معي الإنسان . ولكنها تصبح ممرضة عندما تصاب بـطـفرة تحولها إلى الذرية E157 مـثـلاً الـتـي كانت مسؤولة عن عدد من الـوفـيـات في الـولايـات المتـحـدة كنتيجة لتلوث اللحوم . لاحظ وجود الأهداب التي تعمل كجهاز حركي ، وكمسـتـقبلات بدائية [الشـكل عن Pennisi, E., Science **284**.82(1999)] (انظر أيضاً الشكلين 4.8 و 38.9 ـ جـ) .

البدائية Archaebacteria ، Archaebactéries ، وغيرها من البكتيريا، هي من بدائيات النوى، أي لا تحوي داخل الخلية حيزاً محاطاً بغشاء خاص به، يحصر في داخله النمط الجيني بما يعرف بالنواة. وتكون بدائيات النوى دائماً ذات خلية واحدة، وتعرف عندئذ بوحيدات الخلية بدائيات النوى(1.8).

أما في ما يتعلق بحقيقات النوى، فبالإضافة إلى وجود غشاء نووي يحدد حيزاً، يحتضن في داخله النمط الجيني، فإن بنية الخلية حقيقية النواة أشد تعقيداً وتخصصاً. ومع أن بعض حقيقيات النوى « انجمدت » تطورياً، وبقيت على شكل خلية واحدة (كالأميبية مثلاً)، ولكنها غدت على درجة كبيرة من التعقيد. فقد احتوت هذه الخلية على أجهزة هضمية

* يُعدُّ الفسفاتيديلكولين (أو الليسيتين) واحداً من أهم الليبيدات الفسفورية التي تكون الغشاء البلزمي لخلية الثدييات. إن أهم ما يتميز به هذا المركب هو تأينه الثنائي والفته للماء ولليبيدات بان واحد. ولجزيء الفسفاتيديلكولين الصيغة التالية :

$$H_3C-(CH_2)_{14}-C(=O)-O-CH_2$$
$$H_3C-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-C(=O)-O-CH$$
$$H_2C-O-P(=O)(O^-)-O-CH_2-CH_2-N^+(CH_3)_3$$

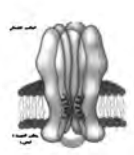
(8 . 1) مع أن هنالك فروقاً تكيفية كثيرة بين بدائيات النوى وبين حقيقياتها، تشتمل على تبسيط شديد للبنية والوظيفة في بدائيات النوى، يقابله تعقيد وتخصص كبيران في الخلايا حقيقيات النوى، فلا بد من الإشارة إلى الفروق الرئيسة التالية :

1. إن عدم وجود نواة في بدائيات النوى قسر عمليتي الانتساخ والترجمة كي تتما في لحظة واحدة. كما أن الرسيل لا يحوي ذيل عديد الأدنيل الذي يضاف إلى النهاية 3 رئيسة في حقيقات النوى بوساطة بوليمراز عديد الأدنيل. ويمكن أن يصل طول هذا الذيل في حقيقيات النوى إلى 250 نكليوتيداً.

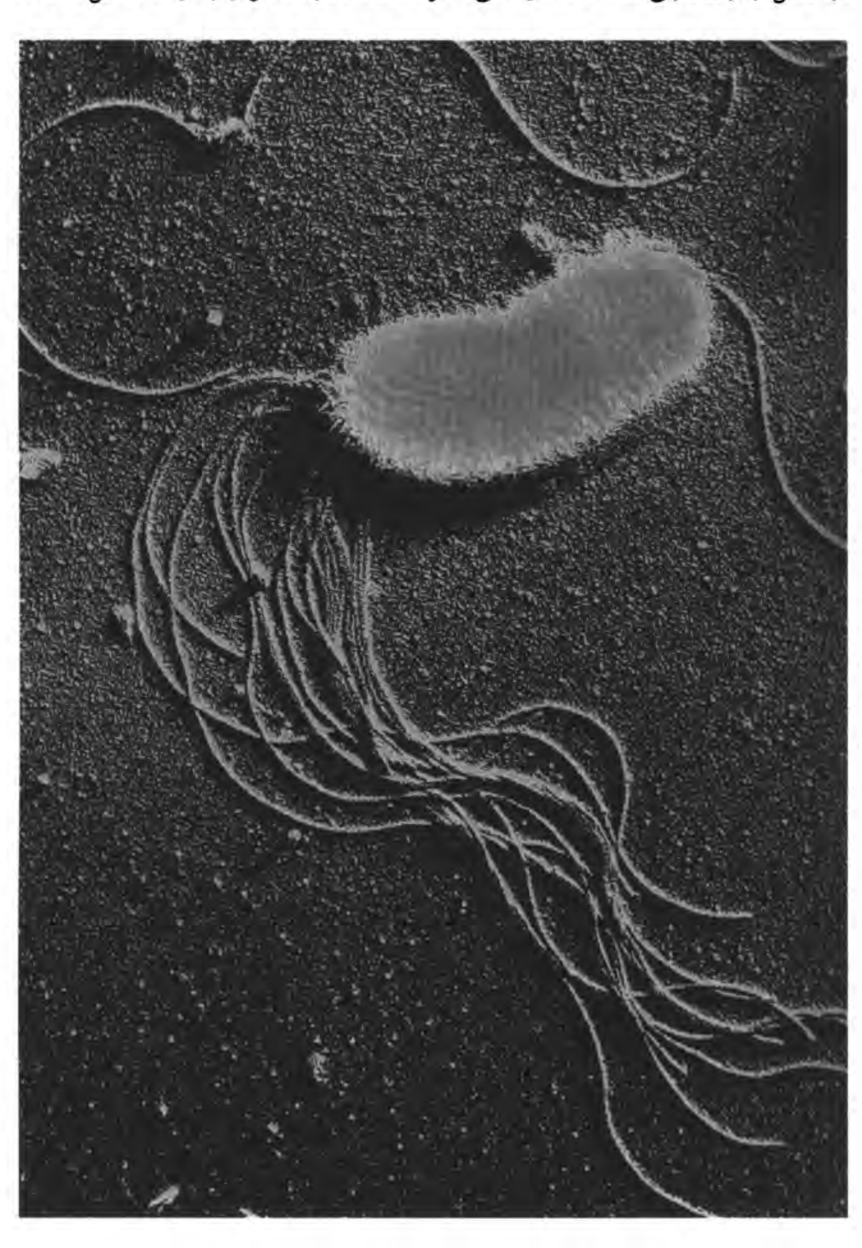
2. لا تمتلك بدائيات النوى مجموعة الأنزيمات التي تضيف السكاكر (أو ما يعرف بعملية الغلكزة glycolisation) إلى الجزيئات البروتينية في إثر تركيبها.

3. ليس بوسع بدائيات النوى تصدير البروتينات إلى خارج الخلية، ذلك أنها تفتقر إلى جهاز غولجي.

←



← **4.** تمتلك بدائيات النوى على ســطوحها أهداباً تعمل (بالإضافة إلى مسـاعدة الخلية على الحـركة) كمسـتـقبلات نوعية بدائية (الشـكل 2.8) .



الشكل 2.8. صورة بالمجهر الإلكتروني الـتـفـرسـي (الماسـح) لـلـزائفة المتألقة Pseudomonas fluorescence ، بدائية نـواة تـفسـد الحلـيب واللحم والبيض . وعـلـى الـرغـم مـن أن معظم أفراد هذا الجنس غير مـتـجـانس الأفراد ، ويعمل كـمـمـرضـات (زائفة القيح الأزرق *P.* pyocyanae ، ومخمجة المجاري البولية على وجه التخصيص) ، فإن بعض أفراده يـحـول الـنـفايات العضوية إلى مركبات معدنية . لاحـظ قطبية الأهـداب [عـن Trieu - Cuot,T.et Poyart, C.La Recherche **314**, 62-66 (1998)].

5. خلافاً لحقيقيات النوى، فإن بدائيات النوى تمتلك نظاماً دفاعياً ضد الجينات التي تدخلها من بكتيريا أخرى دخولاً قسرياً. ويتمثل هذا الجهاز« المناعي » بأنزيمات النكْلياز التي تقوم بتحطيم الجينات الغازية تحطيماً نوعيا . وهذه هي أنزيمات التقييد restriction enzymes ، enzymes de réstriction ، التي تستعمل على نطاق واسع في الهندسة الجينية، وتمثل أحد أركان هذه التِقنية .

6. عدم وجود هيكـل خلـوي متطـور في بـدائـيـات الـنـوى بسـبب عدم تمايـزها إلى أشـكـال مختـلفة، ولتكـاثرها بالانقسـام المباشـر (الـلافتيلي أو اللاخيطي) .

7. خـلافـاً لحقيقيات الـنـوى، فـإن بدائيـات الـنـوى تمتلك (بالإضافـة إلى«صبغياتها») حلقات من حلـزون DNA، ADN المزدوج، تعرف بالبلزميدات plasmides، ولا توجد هذه الحلقات في نوى حقيقيات النوى، إنما توجد في كوندريات هذه الخلايا .





وتنفسية وحسية وإفراغية واقترانية (تزاوجية). ومع أن هذه الأجهزة كلها ظلت بسيطة و بدائية، فإنها على درجة عالية من الأداء. كما أن وحيدات الخلية هذه أحاطت نفسها بغلاف قاس (أحياناً كلسي الطبيعة، يقيها من العوامل غير الملائمة للوسط). وتعرف هذه الخلايا، التي تعيش كل خلية منها منفصلة عن الخلايا الأخرى بوحيدات الخلية حقيقيات النوى. أما في معظم حقيقيات النوى، فقد اتحدت الخلايا بعضها ببعض، وكوّنت عديدات الخلايا (كالنباتات والحيوانات التي تحيط بنا، بما في ذلك بنو البشر). وتعرف هذه الكائنات بعديدات الخلايا حقيقيات النوى. ومع أن أنواع البكتيريا العادية (الممرضة منها وغير الممرضة) تشتق الطاقة الضرورية لاستقلابها ونموها وتكاثرها وطفرها (تغييرها لبعض خصائص النمط الظاهري) من استقلاب مركبات الكربون العضوية (والسكاكر منها على وجه التخصيص) بوساطة تفاعلات أكسدة هوائية أو لا هوائية وفقاً لطبيعة حياة البكتيرة، فإن أنواع البكتيريا البدائية (التي لم يكتشف وجودها إلا في النصف الثاني من السبعينات)[52]، تشتق الطاقة الضرورية لإنجاز سيرورات حياتها إما من تحويل الهدرجين وثاني أكسيد الكربون بإرجاع لا هوائي إلى ميتان، وهذا هو نمط البكتيريا البدائية مولدة الميتان methanogenes، méthanogènes، وتستعمل لاشتقاق الميتان اشتقاقاً لا هوائياً كمصدر للطاقة مخلفات عضوية حيوانية أو نباتية. إن اشتقاق الطاقة (الميتان)، يمثل تقانة حيوية بسيطة، تستعمل على نطاق واسع في المزارع والقرى الصينية مثلاً، حيث تولد كل مزرعة أو قرية الطاقة الكهربائية والحرارية والميكانيكية التي تستهلكها بدءاً من فضلات حيوانات المزرعة، فتكفي نفسها ذاتيا.

أما النمط الثاني من البكتيريا البدائية، فيعرف بالبكتيريا أليفة الملح halophiles. وتشتق هذه البكتيريا الطاقة من تفكيك الأملاح (والمعدنية منها خاصة). ويعيش بعضها في أوساط، يبلغ تركيز الملح فيها ثلاثين في المئة، ويصل الرقم الهدرجيني إلى صفر (درجة حموضة تسبب تآكل الحديد كلياً)، ويمكن لدرجة حرارة الوسط أن تزيد على مئة. إن هذه البكتيريا تعيش فعلاً على تخوم الحياة.

ويتمثل النمط الثالث من البكتيريا البدائية بالبكتيريا أليفة الحرارة thermophiles. وتعيش هذه البكتيريا في ينابيع حارة (تقع عادة في قاع المحيط)، تتراوح حرارتها أحياناً ما بين 100 و 350 سلسيوس. وتشتق هذه البكتيريا الطاقة الضرورية لحياتها من تقويض المواد العضوية التي يصادف وجودها في هذه الينابيع الحارة. ولقد اعتقد كثيرون (لسنوات قليلة خلت) أن الحياة تطورت في هذه الينابيع الحارة، بدءاً من البكتيريا البدائية. ولقد انبثقت هذه الفرضية (التي لم تعمر طويلاً) من فكرة أن درجة حرارة الحساء البدئي للأرض الوليدة كانت مرتفعة جداً. بيد أن شريطة RNA، ARN الهشة، والتي بدأت الحياة، لا يمكن أن تصمد -من حيث البنية -في هذه الدرجة العالية من الحرارة. إن جزيء DNA، ADN ذا الحلزون المزدوج (الذي اشتق من جزيء RNA، ARN) هو الجزيء الوحيد الذي يمكن أن يقاوم ظروفاً من هذا النمط.

أما في ما يتعلق بالفيروسات، فهي طفيليات، ذهبت بها حياة التطفل لتجعلها تتخلى عن كل البنى التي ليس لها علاقة بتكاثرها. لقد اقتصرت بنية الفيروس على مادته الجينية، وعلى الأنزيمات الضرورية لتنسخ هذه المادة، وعلى قلة من الجزيئات تمكنها من حقن (زرق) نفسها في الخلية المضيفة (تماماً كالنطفة التي لا تحتفظ إلا بمادتها الجينية، وبالبنى التي تساعدها على الحركة السباحية، وعلى حقن نفسها في البيضة). فالفيروسات تتميز بقدر عالٍ من التطور التكيفي، وسنعرض لبعض خصائصها في الفقرة الرابعة من هذا الفصل. ويتفق معظم الباحثين على عدم وضوح أصل الفيروسات

52. Schleper,Ch., La Recherche **317** , 30 – 33 (1999).



(التي تقع في ما يتعلق بمقدرتها على التبلور على حدود العالم اللاّحي). إنها، قطعاً، بعض بدائيات النوى التي تطرفت بها حياة التطفل، لتُبقي فقط على ماكِنة تنسخها، كي تتمكن من الاستيلاء على الخلية المضيفة. وقد تكون هنالك فيروسات تعيش حياة حرة (خارج الخلايا)، ولكن لا يعرف عنها إلا ما ندر. وعلى ما يبدو، يمكن لشدف (قطع صغيرة) من الحموض النووية أن تفلت من جينوم بعض الكائنات، فتشكل عندئذ فيروسات جديدة غير معروفة من قبل (وهذه هي على الغالب حال فيروس عوز المناعة البشري الذي يسبب متلازمة عوز المناعة المكتسب-الإيدز AIDS، السيدا SIDA-، علماً بأن بعض الباحثين زعم مؤخراً أن هذا الفيروس أتى من الشـــمبانزي [54,53] الذي تتشابه ذخيرته الوراثية -جينومه- مع جينومنا بنسبة 98 في المئة [55]).

علينا الآن أن نتساءل عن أصل تحولات أربعة كبرى، كان على هذا التطور الموجه أن يحققها، كي يتابع مسيرته **من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية**. وتتمثل هذه التحولات الأربعة بتحقق الخصائص التالية: 1. توليد الطاقة في حقيقيات النوى. 2. نشوء التوالد الجنسي. 3. الانتقال من وحيدات الخلية إلى عديدات الخلايا. 4. حتمية الموت.

8.1.1. توليد الطاقة

كما سبق أن أشرنا، فإن بدائيات النوى تستمد الطاقة الضرورية لحياتها (الاستقلاب والحركة والنمو والانقسام والطفر) من الوسط الذي تعيش فيه نتيجة تفاعلات تقويضية تكيفية متباينة. وكان لا يمكن لحقيقيات النوى أن تربط مصيرها -كبدائيات النوى- ربطاً مباشراً بمواد معينة بذاتها، يمكن أن توجد أو لا توجد في بيئتها. لهذا كان لا بد من أن تستنبط حقيقيات النوى آلية تمكنها من توليد الطاقة ذاتياً (من داخلها). وجابهت هذه الكائنات الحية (وربما قبل أن ترتقي إلى حقيقيات نوى حقيقية) مشكلة وجود الأكسجين في الجو والوسط الأرضيين، اللذين كانا قبل ظهور الأكسجين ضعيفي الإرجاعية (بسبب وفرة الهدرجين والميتان والأمونياك على وجه التخصيص). وكما هو معروف، فإن الأكسجين الجوي (أي O_2) ظهر نتيجة التركيب اليخضوري لبدائيات النوى النباتية التي كانت تستعمل CO_2 لاشتقاق الطاقة. وكان الأكسجين المتحرر ساماً في ما يتعلق ببدائيات نوى تعيش في جو مرجع. ويمكننا أن نعثر في أدبيات هذا الموضوع على الفرضيتين التاليتين اللتين تفسران نشوء ظاهرة التنفس لدى حقيقيات النوى كسيرورة لتوليد الطاقة من جهة، وللتخلص من التأثير السام للأكسجين من جهة أخرى (يُرجع إلى الحاشية 5.3).

I. فرضية التعايش الداخلي

اقترحت هذه الفرضية الباحثة الأمريكية «لين مارغوليس» Lynn Margulis في مطلع السبعينات [57,56] ففي إحدى مراحل التطور، استطاعت خلية من خلايا طلائع حقيقيات النوى (والتي كانت تعيش بمنأى عن الأكسجين، أي تعيش حياة لا هوائية) أن تبتلع (كغذاء لها) جسيمات متباينة الطبيعة. وتمكنت هذه الخلية الطليعية لحقيقيات النوى فيما بعد أن تستعمل المواد المبتلعة في تكوين جملة أغشيتها الداخلية (وبخاصة الشبكة البلزمية الداخلية، وجهاز غولجي، وغشاء

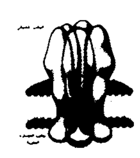
53. Weiss, R.A. and Wrangham, R. W., Nature **397**, 385 – 386 (1999).

54. Gao, F. et al., Nature **397**, 436 – 441 (1999).

55. Soller , M., The Sciences (The New York Academy of Sciences) , **38 (2)** , March / April , 5 - , 8 (1998).

56. Selosse , M. et Loiseaux-de Goër, S., La Recherche **296**, 36 - 41 (1997).

57. Doolittle, W. F.,La Recherche **310**, 44 - 45 (1998).



النــواة). وأصبـحت هذه الخلية (أو الخلايــا المتحـدرة منهـا) تتغذى على خلايـا من بدائيات النوى، تقوم بابتلاعـهـا (أو ببلعمتها)، وكانت هذه الخلايا بدائيات النوى تعيش حياة هوائية.

وفي مرحلة تالية، وعوضاً عن تقويض بدائيات النوى المبتلعة من قبل طلائع حقيقيات النوى، فإن بدائيات النوى هذه تمكنت من أن تفلت من الفعل التقويضي، وتستمر في العيش داخل الخلايا طلائع حقيقيات النوى. وهكذا نشأ هذا التعايش الداخلي: خلية حقيقية النواة تعيش حياة لا هوائية تؤوي في داخلها خلية بدائية النواة تعيش حياة هوائية. ومقابل تأمين الخلايا طلائع حقيقيات النوى الغُذَيَّات الضرورية لحياة بدائيات النوى، ومقابل منحها مأوى فيزيائياً حريزاً، فإن طليعيات النوى قدمت لمضيفاتها الطاقة المتمثلة بتشكيل ثالث فسفات الأدينوزين (ATP)، ومن ثم كفتها شر الأكسجين السام. وهكذا حققت هذه الخلية ذات التعايش الداخلي ميزة تكيفية، تفوقت بوساطتها على أقرانها التي لم تستطع أن تخطو هذه الخطوة.

ووفـقـاً لـفـرضـيـة الـتـعـايش الداخلي هذه، فقدت الخلية بدائية النواة تدريجياً جزءاً من جينومها لحساب جينوم المضيف. ذلك أن شدفاً (قطعاً صغيرة) من DNA، ADN الخاص ببدائي النواة عبرت السيتوبلازما، لتلتحق بصبغيات الخلية المضيفة حقيقية النواة. وبفقدانها لعدد من جيناتها الأساسية لحساب جينوم الخلية المضيفة، أضحت الخلية بدائية النواة عاجزة عن العيش حياة مستقلة خاصة بها، ومن ثم فإنها أُجبرت على العيش نهائياً داخل مضيفها المتعايشة معه. وعلاوة على ذلك، فإن بعضاً من جينات السلسلة التنفسية هاجر هو الآخر إلى نواة الخلية حقيقية النواة. وكنتيجة لهذه السيرورات المتلاحقة من الخسارة والاعتماد المتزايدين على الخلية المضيفة، تحولت الخلية بدائية النواة داخل الخلية المضيفة إلى مجرد عُضية، تحوي جينوماً مختزلاً، يرمّز ما يزيد قليلاً عن عشرة بروتينات فقط [(2.8)]. وأطلق على هذه العُضية اسم الكوندرية mitochondrion، (وجمعها كوندريات mitochondria).

(2.8) اشتق اسم الكوندرية mitochondrion، وجمعها mitochondria من اللاتينية (mitos؛ وتعني خيط، و chondron أو chondros، وتعني حبيبة أو بذرة، حيث شوهدت لأول مرة على شكل خيط حبيبي المظهر، وكانت آنذاك في طور الانشطار). ولقد بينت سَلسَلة ما تبقى من جينوم الكوندريات الحالية أنها تشبه كثيراً جينوم البكتيريا، وعلى وجه التخصيص الريكتسية «بروازيكي» Rickettsia prowazekii المسببة للتيفوس، والتي تنتقل إلى الإنسان بوساطة القمل[59,58] تعيش هذه البكتيرة داخل خلايا المضيف (ومنها الإنسان)، وكانت مسؤولة على مر العصور عن موت عشرات ملايين البشر: ربما وباء أثينا عام 430 قبل الميلاد، وبالتأكيد الأوبئة التي ظهرت بعد عام 1600. لقد أدى وباء 1918-1922 إلى إصابة ما بين 20 و 30 مليون إنسان. وتحصي أدبيات هذا المرض المروع (الذي يترافق مع الكوارث: كالحروب والطوفانات والزلازل والمجاعات) مئات الأطباء الذين قضوا نتيجة معالجتهم مرضى التيفوس. ولقد حدد هذا الوباء غير مرة نتيجة الحرب أكثر من المعركة نفسها. ونذكر مثلاً ما حدث في المعركة بين فرنسا والنمسا عام 1741, عندما استسلمت مدينة « براغ » للقوات الفرنسية لأن 000 30 من الجنود النمساويين المدافعين عن المدينة ماتوا بالتيفوس.

لقد بينت سلسلة DNA، ADN مؤخراً أن الكوندريات والريكتسية بروازيكي اشتقتا من أصل واحد، ذلك أن القرابة بين جينومي هاتين البكتيريتين بدائيتي النواتين وثيقة جداً. وتبين أيضاً (نتيجة هذه السَلسَلة) أن القسم من جينوم الخلايا حقيقات النوى الذي يرمز بقية بروتينات الكوندرية هو ذو أصل بكتيري، الأمر الذي يؤكد منشأ الكوندريات من الريكتسية التيفوسية بدائية النواة. كما أن الدراسات التحليلية لمادة DNA، ADN حقيقيات النوى، أظهرت قرابة وثيقة بين جينوم هذه الخلايا وجينوم طلائع البكتيريا البدائية أليفة الحرارة التي سبق ذكرها. وتصدق هذه المعلومات أيضاً في ما يتعلق بأصل الصانعات الخضر chloroplasts، chloroplastes الموجودة في الأقسام الخضر من النبات، وتنجز تفاعلات التركيب الضوئي. لقد أتت الصانعات الخضر من السيانوبكتيريا cynobacteria، cyanobactéries (التي كانت تعرف بالطحالب الزرق). إن قرابة 10 في المئة من بروتينات الكوندريات مرمّز بالنواة (DNA، ADN الذي يعتقد أنه هــاجر أصــلا من الكونـدرية إلى النــواة عند بداية حياة التعايـش الداخلي). وتدخــل بروتينات الخلية الكــوندرية (محمولــة على مستقبل خاص) بمساعدة بروتين الصـدمة الحرارية Protéines de choc thermiques-70, heat shock protein-70(mHSP-70)(انـظر الفقرة 3.2.8). إن m ترمز إلى الكوندريات، و 70 إلى الكتلة الجزيئية النسبية بالكيلودالتون. ويعمل mHSP-70 كوصيف chaperone، يسـاعد البروتين على الدخول إلى الكوندرية من جهة، وعلى انثناء الجزيء على نفسه انثناءاً سوياً، ليأخذ شكله الوظيفي ثلاثي الأبعاد من جهة أخرى. ←

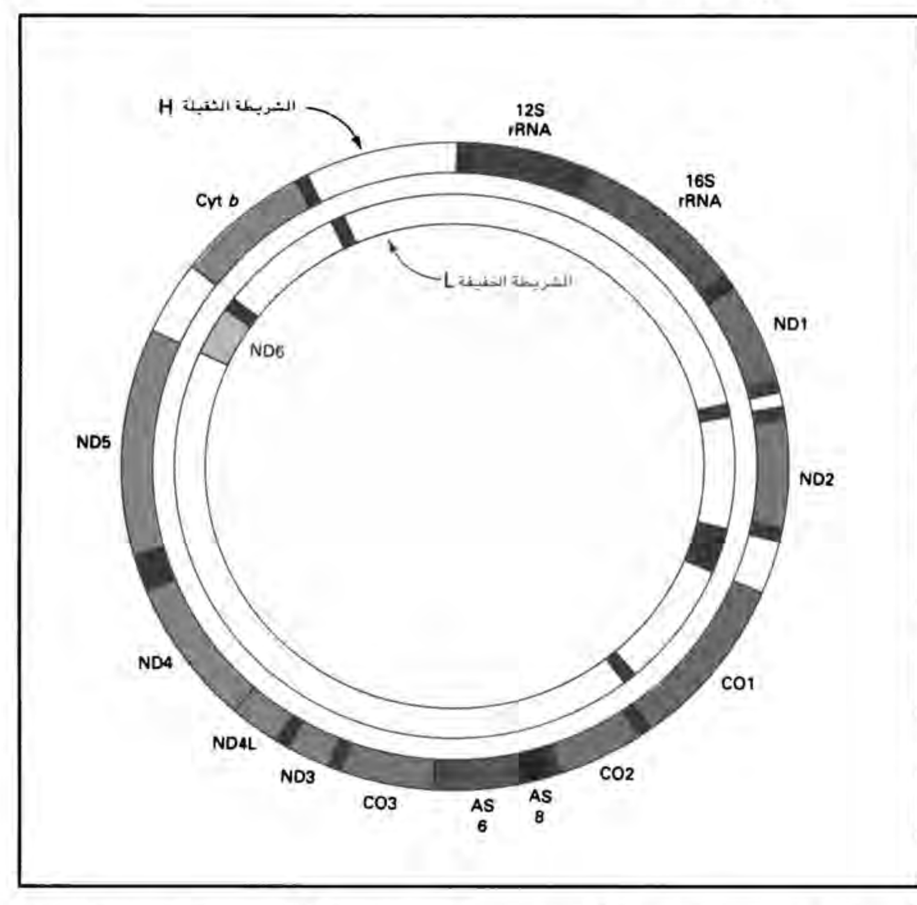
58. Gray, M. W., Nature **396**, 109 - 110 (1998).
59. Andersson, S. G. E., et al., Nature **396**, 133 - 140 (1998).



II.فرضية الهدرجين

مع أن فرضية التعايش الداخلي التي وضعتها في مطلع السبعينات «لين مارغوليس» بقيت مقبولة دوغماً منازع قرابة ثلاثين عاماً، فقد اقترح «ويليام مارتين» William F. Martin، و «ميكلوس مولر» Miklós Müller عام 1998 [60] فرضية تبدو أكثر واقعية. وعلى الرغم من أن الفرضية الجديدة تقوم على أساس تعايش بدئي، فإن هذا التعايش حدث مع بكتيرة (مفرد بكتيريا) هوائية، وجدت سبيلاً إلى الدخول إلى بكتيرة بدائية (ربما من النمط مولد الميتان)، وليس إلى خلية بدائية من حقيقيات النوى. وخلافاً أيضاً لفرضية التعايش الداخلي لـ «مارغوليس»، فإن ظاهرة التنفس

← إن DNA، ADN كوندريات الإنسان هو حلقة مزدوجة الحلزون تتألف من 569 16 شفعاً من النكليوتيدات (الشكل 8 . 3)، ويرمّز 13 بروتيناً، و22 نوعاً من الحمض النووي الريبي الناقل tRNA، ARNt، ونوعين من الريبوزومي rRNA، ARNr. إن قرابة 60 في المئة من السعة الترميزية لهذا الجينوم يناوع الوُحَيدات السبع لريدكتاز NADH-Q، وللمعقدات الثلاثة الأولى التي تضخ البروتونات في السلسلة التنفسية المتوضعة في الجدار الداخلي للكوندرية. ←



الشكل 8 . 3. مخطط ترسيمي للخريطة الجينية لحلزون DNA، ADN الحلقي الخاص بالكوندريات. تتألف الحلقة من شريطتين: الخارجية (الثقيلة نسبياً) H (من heavy)، والداخلية (الخفيفة نسبياً) L (من light)، وتشتملان على 569 16 شفعاً (زوجاً) من الأسس. تُرمِّز الجينات ND (الأخضر) وُحَيدات ريدكتاز الجزيء NADH-Q (أي النمط Q من ثنائي نكليوتيد النيكوتين أميد المُرجع)، أو ديهدروجيناز NAD. ويُرَمِّز الجين CO (الأصفر) أنزيم أكسيداز السيتوكروم، والجين Cyt b (الأصفر المخفف) القسم b من ريدكتاز السيتوكروم، ويُرَمِّز الجين AS (الأسود) سينتاز ATP. لقد أشير إلى جينات tRNA، ARNt بالأحمر، وإلى جينات rRNA، ARNr بالأزرق (عن Stryer، 1995، المرجع 30، ص. 989)

← كما أن جينوم الكوندرية يرمز وُحَيدة ريدكتاز السيتوكروم، وثلاث وُحَيدات من أكسيداز السيتوكروم، ووُحَيدتين من سنتاز ATP. فكل شفع من أسس جينوم الكوندرية يدخل في ترميز إما بروتين أو RNA، ARN. إن جينوم كوندرية الإنسان ذو اقتصادية عالية جداً، حتى أن الأساس النهائي لجين ما يعمل أيضاً كأساس استهلالي للجين الذي يلي. ومن المذهل حقاً أن جينوم الكوندرية البشرية يستعمل في تركيب بروتيناته 22 حمضاً نووياً ريبياً ناقلاً، في حين أن الخلية التي تحوي هذه الكوندريات تستعمل 61 ناقلاً. وبالنظر إلى ما ذُكر سابقاً (وكما هو متوقع)، فإن الراموز أو الكود الجيني لكوندريات الإنسان يختلف بعض الشيء عما يقابله في النواة. ولابد من الإشارة إلى أن جينوم الصانعة الخضراء أشد تعقيداً من جينوم الكوندرية. ونرث نحن كوندرياتنا من أمهاتنا. أما كوندريات النطفة، فتقوَّض كلياً تقريباً في إثر دخول النطفة البيضة في أثناء الإخصاب.

60. Martin, W. F. and Müller, M., Nature **392**, 37 – 41 (1998).



(أي استعمال أكسجين الهواء لأكسدة المواد، واشتقاق الطاقة)، لم تكن السبب في تحبيذ عملية التعايش، بل كان الهدرجين الجوي (H_2)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2). وكان هذان الغازان ينطلقان من فعل بكتيرة بدئية، كانت تعيش آنذاك، وتفكك المواد العضوية بعملية التخمر المعروفة (كما يحدث في تخمر المواد السكرية إلى كحولات ثم، ألدهيدات، ثم حموض عضوية بوساطة تفاعلات أكسدة، كتشكل حمض الأسيتيك -الخل- مثلاً نتيجة تخمر السكر).
أما البكتيرة البدائية التي كانت بالجوار، فلم يكن متاحاً لها (كمصدر للغذاء وتوليد الطاقة) سوى نتاج عملية التخمر؛ أي الهدرجين، وثاني أكسيد الكربون، اللذين كانا يطرحان في الوسط. وكما سبق أن عرضنا في هذه الفقرة، توجد حالياً بكتيريا من نمط مولدة الميتان، تستعمل هذين الغازين على نحو لا هوائي، لتشتق غذاءها وطاقتها، محررة الميتان (الذي يُعدُّ مصدراً أساسياً للطاقة في كثرة من مزارع العالم الثالث وقراه، والصين منها على وجه التخصيص. ولقد مثّل إنتاج الميتان أول وأبسط تقانة حيوية مفيدة للبيئة استعارها الإنسان كتحوير لظاهرة التخمر القديمة قدم الإنسان الزراعي نفسه).
وظل نوعا البكتيريا (البكتيريا البدئية التي تعيش من عملية التخمر، والبكتيريا البدائية مولدة الميتان) يعيشان جنباً إلى جنب في علاقة حسن جوار مثالية، كل منهما منفصل فيزيائياً عن الآخر إنما في وسط لا هوائي، غني نسبياً بالمادة العضوية القابلة للتخمر، ويحوي في الوقت ذاته تركيزاً كافياً من الهدرجين وثاني أكسيد الكربون، يكفي ليقيم أوَدَ البكتيريا البدائية لتتغذى ولتشتق الطاقة، بتحويل هذين الغازين إلى ميتان. إن هذا التجاور المثمر لنوعي البكتيريا يمثل ظاهرة واسعة الانتشار في النظم البيئية المختلفة.

ولكن عندما أصبح الوسط فقيراً بالهدرجين، ثم مجرداً منه، فإن البكتيريا البدائية مولدة الميتان (المضيفة) أصبحت معتمدة كلياً على البكتيريا الأخرى المنتجة للهدرجين وثاني أكسيد الكربون (أو البكتيريا المعايشة). وبالنظر إلى الجوار الفيزيائي المباشر، فإن جينات من البكتيريا المعايشة اقتُنصت من قبل البكتيريا المضيفة. وتمكنت الجينات المقتنصة من تركيب البروتينات الغشائية الضرورية لأخذ المركبات العضوية من الوسط، وكذلك تركيب أنزيمات تحلل السكر. ولقد مكّنت هذه السيرورة البكتيريا البدائية المضيفة (مولدة الميتان أصلاً) من اشتقاق الطاقة (على شكل ثالث فسفات الأدينوزين ATP) بتفاعلات تحلل السكر وبغياب الأكسجين. وعندما اكتسبت الخلية المضيفة هذه الخصائص الجينية (وراثياً)، غدا بإمكانها ابتلاع البكتيرة المتعايشة ابتلاعاً كلياً.

إن فرضية الهدرجين تتميز باقتراحها تفسيراً منطقياً لثلاث نواح، بقيت غامضة في فرضية التعايش الداخلي لـ«مارغوليس». وهذه النواحي هي التالية:
1. اقتراح تفسير نشوء البروتينات الغشائية ذات الأهمية الكبيرة لحياة الخلية، والتي سنعرض لها في الفقرتين الثانية والثالثة من هذا الفصل.
2. اقتراح تفسير نشوء تحلل السكر، واشتقاق الطاقة بغياب الأكسجين.
3. اقتراح تفسير وجود حقيقيات نوى لا تحوي كوندريات أو صانعات خضر (لم تكن معروفة في السبعينات)، تستقلب (مشتقة الطاقة) بتركيز منخفض جداً من الأكسجين، أو حتى بغياب هذا الغاز، ذلك أن أحد الاحتمالات الافتراضية التي طُرحت، تمثل باختفاء البكتيرة المضيفة (في الأزمنة الأولى لتكون حقيقيات النوى) بسبب عدم الحاجة لها.

8.1.2. نشوء التوالد الجنسي

كان نشوء التوالد الجنسي ضرورة حتمية اقتضته أهمية التنوع كأساس للتكيف البيئي. فهو إذاً ضرب من ضروب تعقد

البنية الذي توخاه التطور الموجه. ومع أنه توجد في الطبيعة كائنات حية تتوالد لا جنسياً (بوساطة التبرعم، أو الانشطار، أو غير ذلك)، فإن هذا التوالد غالباً ما يكون محدود الأهمية، ويصادف في الكائنات الحية الدنيا، كبدائيات النوى وبعض الديدان. كما توجد مجموعات من الزواحف المائية ذوات الأجسام الضخمة، تتوالد توالداً بكرياً (أي تتنامى البيضة إلى فرد مكتمل دونما إخصاب). ويُعدُّ الاستنساخ شكلاً من أشكال التوالد اللاجنسي، ذلك أن الفرد المستنسخ يكون صورة طبق الأصل (من حيث التكوين) عن الفرد الذي زود المادة الجينية، أي النواة. هذا ويمكن الرجوع من أجل تفصيلٍ كافٍ لموضوع التوالد الجنسي واللاجنسي، وكذلك الاستنساخ، إلى القسم البيولوجي لمؤلف هذا الكتاب في كتاب «**الاستنساخ: جدل العلم والدين والأخلاق**»، دار الفكر، دمشق 1997.

وفي معظم الأحيان، يرافق التوالد اللاجنسي -حتى في البكتيريا- شكل من أشكال التوالد الجنسي البدائي (الشكل 4.8، ويرجع إلى الشكل 1.8-ب، انظر أيضاً الشكل 38.9-جـ). ولقد استمر هذا التوالد الجنسي البدائي والطارئ إلى أن ترسخ التوالد الجنسي في الكائنات الحية كلها تقريباً. ويمكن تعريف التوالد الجنسي بقولنا إنه تخالط جينات فردين مختلفين (قليلاً أو كثيراً، إنما من نوع واحد عادة) في نمطيهما الجينيين (ذكر وأنثى)، كي ينشأ عن هذا





الشكل 4.8. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح)، تبين انتقال المعلومات الوراثية من إشريكية قولونية *Escherichia coli* (يُرجع إلى الشكل 1.8-أ) إلى أخرى. وتُري هذه الصورة كيف يحدث الاقتران في البكتيريا (الجراثيم) عبر شعرة خاصة تصل بين جوفي البكتيرتين. ويمر DNA، ADN عبر هذه الشعرة من البكتيرة المانحة إلى البكتيرة المتقبلة (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 827).

التخالط نمط جيني جديد، يختلف عن النمط الجيني للذكر، كما يختلف أيضاً عن النمط الجيني للأنثى. صحيح أن الفرد الجديد ينتمي إلى النوع نفسه الذي ينتسب إليه الأب والأم، إلا أن لهذا الفرد سمات بنيوية، وخصائص وظيفية (فيزيولوجية)، تميزه عن أفراد النوع كافة، وتفرّقه حتى عن إخوته أو أخواته في العائلة الواحدة. وهذا هو السبب في عدم وجود فردين متماثلين تماماً (كفردي التوأمين اللذين تكونا من بيضة مُخصبة واحدة) ضمن أفراد النوع كافة (النوع البشري مثلاً). **فالتوالد الجنسي إذاً هو التنوع (التباين) ضمن النوع الواحد، إنه زيادة في التغاير، إنه إذاً ضرب من ضروب تعقيد البنية (بسبب تباينها) بحثاً عن أداء أفضل (بحثاً عن أفراد ذات مستويات أعلى من الأداء الوظيفي، إنه التطور الموجه ذو المعنى)**. فإذا كان نشوء التوالد الجنسي يقع ضمن السيرورات العامة للتطور الموجه ذي المعنى (من الأبسط إلى الأعقد بنية ومن الأقل إلى الأكثر كفاية وأداء) الذي سيتوجه ظهور الإنسان، فكيف نشأ إذاً هذا التوالد؟

مما لا لُبسَ فيه أن هذا التوالد نشأ في البداية نتيجة التهام الكائنات الحية الدنيا (بدائيات النوى) بعضها بعضاً. ففي وسط تزدحم فيه أنواع هذه الكائنات، يحدث أن يؤدي الاكتظاظ إلى موت بعض الأفراد، فتعمد الأفراد الحية إلى التهام جثث الأفراد الميتة. والجينات هي من بين المواد الملتهمة. كما أن الاكتظاظ يدفع بعض الأفراد إلى التهام البعض الآخر. لقد



تبين أن هذه «الوحشية»، أو هذا «التلحمّ» (من التهام اللحم) لم يفد البكتيرة في التغذي فحسب، بل منحها سمات تكيفية أفضل بالنسبة لأقرانها. واتضح لهذه البكتيريا أنه يمكن تحسين نمطها الجيني بتبادلها الجينات مع أقرانها. وهكذا نشأ الاقتران الجنسي بين بكتيرتين، أو بين نقاعيين (كالبَرَمسيوم، يُرجع إلى الشكل 4.2 الصفحة 32 من كتاب «الاستنساخ» الذي أشرنا إليه غير مرة).

ولقد حقق التوالد الجنسي خطوة إضافية كبرى عندما قُصِرَ هذا التوالد في حقيقيات النوى على النوع نفسه، حيث أقام حاجزاً بين نوع وآخر، يستحيل تقريباً تخطيه في الأحوال العادية. وهكذا حُرِّمَ التوالد بين نوعين مختلفين، و بخاصة في الكائنات الحية العليا. وحدوث النغولة نتيجة التزاوج بين الخيل والحمر حالة فريدة لا يعرف لها مثيل في الثدييات الأخرى. كما أن الفرد الذي يتشكل من هذه النغولة غير قابل للتوالد بسبب شذوذٍ يصيب صبغياته. ولا بد من تأكيد أن حاجز النوع (وخلافاً لما يبدو ظاهرياً) هو حماية للنوع نفسه. فانتقال الجينات ضمن النوع هو انتقال عمودي vertical transmission، transmission vérticale. وكما سنذكر في الفقرة 9.5 فإن الخطأ الفادح الذي غالباً ما يُرتكب في تِقنية الهندسة الجينية، وفي التِقانة الحيوية، هو تخطي هذا الحاجز النوعي، ونقل جينات من البكتيريا إلى الأرنب مثلاً. ويتمثل الخطر هنا بانتقال الجينات انتقالاً أفقياً horizental transmission، transmission horizentale (أي خارج النوع)، الأمر الذي نجم، وينجم عنه معضلات صحية وبيئية قد تكون أخطر على الإنسان من المفاعلات والأسلحة النووية (انظر الفقرات 9.6 و 9.7 و 9.8). ومن المعلوم، فإن تباين خصائص الأفراد (من حيث البنى والوظائف)، إنما يرجع إلى تبادل قطع جينية بين الصبغيات الموروثة من الأب، والصبغيات الموروثة من الأم بعملية تعرف بالتعابر crossing-over الصبغي (يُرجع إلى قسم «بيولوجيا الاستنساخ» من كتاب «الاستنساخ: جدل العلم والدين والأخلاق»، المنوه به آنفاً. كما يرجع إلى وراثة ما فوق الوراثة epigēnētique, epigenetics.

8.1.3. الانتقال من وحيدات الخلية إلى عديدات الخلايا

قد يشكل هذا التحول واحداً من بين الأمثلة الأوضح لتطور موجه ذي معنى من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداءً وكفاية. ويشكل التخصص في الأداء أساساً محورياً لهذا الانتقال. فصحيح أن حقيقيات النوى وحيدات الخلية (كالأميبة والبَرمسيوم) قد خصصت (كما سبق أن ذكرنا في بداية الفقرة 8.1) داخل الخلية الواحدة حيزاً محدداً لاقتناص الغُذَيَّات (أي تشكل بنية هي طليعة الفم)، ولابتلاعها وهضمها ضمن فجوات هاضمة حمضية التفاعل (كالمعدة)، ثم أخرى قلوية التفاعل (كالأمعاء). كما خصصت فجوات إفراغية لطرح فضلات الاستقلاب، وكسا جسمها (في حالة البَرمسيوم) جملة هدبية معقدة، تمثل جهازها الحسي الحركي، على الرغم من كل هذه التخصصات المكانية الوظيفية، فلقد اتضح أن الخلايا الأولى ستعيش على نحو أفضل فيما لو ترابط بعضها ببعض، وتخصصت كل مجموعة خلوية في هذا التجمع بوظيفة محددة.

ولقد نشأ هذا الترابط على ما يبدو في ظروف بيئية معينة. فالأميبة المعروفة باسمها النوعي «ديكتوستيليوم» *Dyctostelium*، تعيش في الماء العذب، وتتغذى على البكتيريا الموجودة فيه. فإذا ما حرمنا الديكتوستيليوم من الماء والغذاء، بَادَرَ إلى إفراز مادة كيميائية (يمكن أن نطلق عليها اسم هرمون الكَرب)، تجعل أفراد ديكتوستيليوم أخرى موجودة في الجوار، تستجيب إلى صرخة الاستغاثة هذه، فتلبي النداء وتتكدس معه. وتشكل المجموعة مستعمرة



«عديدة الخلايا» من الديكتوستيليوم، يزيد عدد أفرادها على ألف فرد. ويزحف هذا المجموع الخلوي (الذي يأخذ مظهر «البزاق») بحثاً عن الغذاء. فإذا لم يجده، يســتمر في الموضع الذي وصل إليه، وينمو عندئذ منه ســاق يحمل أبـواغ (أو «بذور») الأمبية، ويدخل في حالة هجوع، قد تمتد زمناً طويلاً، وقد تحدث في ظروف شديدة الجفاف. ولكن إذا ما أضفنا الماء إلى المجموع الخلوي، فإن الأبواغ تسارع إلى الإنتاش (أو النمو)، وكأنها استفاقت من غفوة قسرية. ويعطي كل بوغ ديكتوستيليوم مستقل، يهجر المكان، ويذهب باحثاً عن الغذاء، وكأنه نسي كلياً حياة المستعمرة.

وبالإضافة إلى ديكتوستيليوم الماء العذب، نجد مثالاً مشابهاً في أحد وحيدات الخلية من حقيقيات النوى حاملات السياط، يعرف باسمه النوعي «فولفكس» *Volvox*. ففي حال عوز الغذاء، فإن الفولفكس، يفرز هلاماً، يلصق الفرد الواحد منه بالآخر. وتنتقل الجمهرة الخلوية كتلة واحدة بحثاً عن الغذاء. ومهما كان موضع الفرد في المجموعة، فإن السياط تتوضع على سطح الجمهرة الخلوية. وتتقلص هذه السياط بحركة تموجية متناسقة، وتنتقل المجموعة وكأنها فرد واحد. وما إن تجد كفايتها من الغذاء، حتى تتفرق من جديد، ليعيش كل فرد منها حياته المستقلة.

وبدهي أن يتمخض منطق التأهيل الاجتماعي هذا، في حال استمراره، عن فوائد عديدة للأفراد المتشاركة: إنها أصلب عوداً أمام تغيرات البيئة، بعضها يوجه الحركة، وآخر يقتنص الغُذّيات، وثالث يعمل على طرح الفضلات . . . وأهم من هذا وذاك أن يصبح التجمع أقدر على مقاومة المفترس، وتدبر أمر المعتدي (الغازي). وعلى ما يبدو، فإن حدوث هذا التآلف «الاجتماعي» تم تطورياً بسرعة، واستمر بضع مئات آلاف السنين فقط، لتنتظم في إثر ذلك الخلايا ذات الوظيفة الواحدة في طبقة خلوية، ثم في نسيج متخصص، لخلاياه شكل واحد تقريباً، وتقوم هذه الخلايا بوظيفة واحدة. هذا، وسنعود في الفقرة التالية (8 . 2) إلى معالجة موضوع هذا التخصص الذي كنا أشرنا إليه في الفقرة 7 . 6 من الفصل السابق. وأخيراً، لا بد من تأكيد أن هذا التآلف الخلوي «الاجتماعي» (بهدف التخصص وتوزع أعباء وظائف الحياة)، لم يكن ليحدث بين أفراد النوع الواحد فقط (حاجز النوع) لولا وجود جزيئات على سطوح الخلايا، تقدم للخلية المعلومات اللازمة حول ما يحيط بها، ويعرفها أقرانها من أفراد النوع نفسه كي يترابط بعضها ببعض. ومن المدهش حقاً أن لا يتم هذا الترابط بين أفراد تنتمي إلى نوعين مختلفين. إنه التطور الموجه ذو المعنى من الأبسط إلى الأعقد بنية ووظيفة، الذي سيتَوَّج بظهور الإنسان.

4.1.8. حتمية الموت

كما سبق أن أشرنا، فإن التطور الموجه ذا المعنى فرض حدوث سيرورات كبرى، كانت أساسية لإيصال هذا التطور إلى غايته، ولتحقيق الهدف الذي سبق أن حدد له. فالانتقال من بدائيات النوى إلى حقيقيات النوى، استدعى (حفاظاً على الأفراد، ومن ثم على النوع) حدوث هذه السيرورات الثلاث الكبرى المتمثلة بتوليد الطاقة، ونشوء التوالد الجنسي، وتكون كائنات حية عديدة الخلايا. كما أن منطق التوالد استدعى حدوث موت الأفراد حفاظاً على النوع أيضاً. وكتدبير المدرك لمسعاه في تحقيق هذا التطور الموجه لهدفه الأساسي (أي الوصول إلى حياة ذكية يكون فيها الإنسان خليفة الله في الأرض)، احتفظت الخلية بآلة توليد الطاقة التي تستحيل الحياة بدونها في داخلها (أي احتفظت بالكوندريات). وفي أثناء تكون الفرد، صان التطور الموجه الخلايا الجنسية المسؤولة عن استمرار النوع، محتفظاً بها في أكثر أمكنة الجسم أماناً وسلامة (جدار الكيس المحي الذي يسهر على تغذية الجنين نفسه). وعمد إلى تحديد مسؤوليات العمل، فنشأت النسج المتخصصة، بيناها وبوظائفها.



وتمخض منطق الحفاظ على النوع (وسيلة التطور الموجه) ذي المعنى عن حتمية الموت. كل ما يوجد في هذه الطبيعة من حياة ذو أجل محدود (يمكن الجدل أيضاً في أن المادة غير الحية هي ذات أجل محدد، بدءاً من الصخور إلى الكواكب والنجوم والمجرات، وصولاً إلى حتمية وجود عمر للكون ذاته). فبالإضافة إلى الأبعاد الثلاثة للمكان (ليس أقل ولا أكثر)، التي بُنيت على أساسها أجسام الكائنات الحية، أُدخل في هذه الكائنات البعد الرابع (أي الزمن) لمتصلة المكان-الزمن، فغدا هذا البعد جزءاً من كيانها. فالخلية الواحدة تستطيع أن تنقسم (تتوالد) عدداً محدوداً من المرات (قرابة 45 مرة). أي إن الخلية الواحدة -البيضة البشرية المخصبة- تستطيع أن تعطي مئة ألف مليار خلية تقريباً. ولكن تصاب هذه الخلايا في إثر ذلك بأنواع مختلفة من الأذى، وتموت. وكذلك هي الحال في ما يتعلق بالأفراد عديدات الخلايا. إن حتمية موتها تنبثق من الحقائق المنطقية التالية:

1. استبعاد الأفراد الهرمة، أو الطافرة كي لا تفسد الجمَيعة (أو المجموعة) الوراثية للنوع، ومن ثم تهدد مصيره.

2. ضرورة إفساح المكان لأفراد جديدة من النوع، فرض التوالد (الأساسي لبقاء النوع) أمر وجودها، مادام المكان وإمكاناته في توفير الغذاء محدوداً (أي ليست لا نهائية). ونسوق مثالاً بسيطاً لإيضاح هذه الحقيقة. فلقد حسب أحد الباحثين أنه لو أتيح البقاء لكل الأفراد التي تكونها أنثى واحدة من حيوان نجم البحر (حيوان مسطح، له شكل قرص ذي أذرع خمسة)، فإن كتلة نجوم البحر هذه، ستملأ (بعد سبعين عاماً) فقط المحيط الأطلسي بكامله، ويجبرها الاكتظاظ (بسبب ضيق المكان) على الزحف إلى اليابسة.

3. ضرورة إعادة تدوير recycling، recyclage مواد الطبيعة التي تتألف من عدد ثابت من الذرات (أو الجُسيمات العنصرية، وفي مقدمتها البروتونات والنترونات -أو الكواركات- والإلكترونات)، حيث تم تحديد هذا العدد في الثانية الأولى من حدوث الانفجار الأعظم (يُرجع إلى الجدول 1.2). فمنذ ثلاثة عشر مليار عام تقريباً (وربما إلى الأبد)، سيبقى مجموع هذه الذرات (مع طاقة الكون) ثابتاً، ولن يعاني هذا المجموع أي زيادة أو نقصان. فالطبيعة بحاجة إلى هذا التدوير، كي تبقى حلقات الحياة متماسكة (إن أبسط مثال على ذلك هو أنماط السلاسل الغذائية في البحر والأنهار واليابسة)، ولكي يسير التطور الموجه ذو المعنى إلى هدفه.

4. ضرورة تكون بعض الأعضاء في أثناء تشكل الفرد (في أثناء الحياة الجنينية). ونذكر، كمثال مبسط على ذلك، تشكل أصابع اليدين والقدمين. وتنشأ اليد (في البدء) من صفيحة مستمرة. وتبدأ الخلايا في مناطق محددة تماماً، وفي لحظة بعينها، بالموت (أو الاستموات، أو الموت الخلوي المبرمج، أو الانتحار الخلوي، يُرجع إلى الحاشية 4.6، انظر أيضاً الحاشية 12.8)، وفقاً لبرنامج غاية في الدقة. ويؤدي استموات هذه الخلايا إلى تشكل فضوات، تفصل الأصابع بعضها عن بعض. هذا، ويمكن الرجوع إلى بعض البحوث للوقوف على دور هذه الظاهرة في الصحة والمرض [61 - 64]. وحتى في الدماغ، هنالك خلايا تموت تلقائياً (تَستَموت)، لتعوض عنها خلايا كانت حتى الآن هاجعة، فتنقسم هذه الخلايا

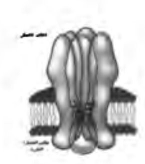
61. I. Golstein, P., Science **281**, 1283 (1998). II. Miller, L.J. and Marx, J., Science **281**, 1301(1998).

بالإضافة إلى هذين التعليقين الافتتاحيين (المرجع 61 -I و II)، فإن هذا العدد من مجلة Science، يحوي مقالات عديدة عن الاستموات، أو الموت الخلوي المبرمج، أو الانتحار الخلوي، نذكر منها التعليق التحليلي لهذه المقالات الوارد في المرجع 62، ونذكر أيضاً مقالة المراجعة الواردة في المرجع 63، والمقالة الاستقرائية الواردة في المرجع 64. كما يمكن الرجوع إلى المقالة الموسومة بالعنوان: «**انتحار الخلايا في الصحة والمرض**»، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **13** العددان **6** و **7**، يونيو-يوليو (حزيران-تموز) 1997، الصفحات 32-41، ترجمة المؤلف.

62. Hengartner, M., Science **281** , 1298 - 1299 (1998).

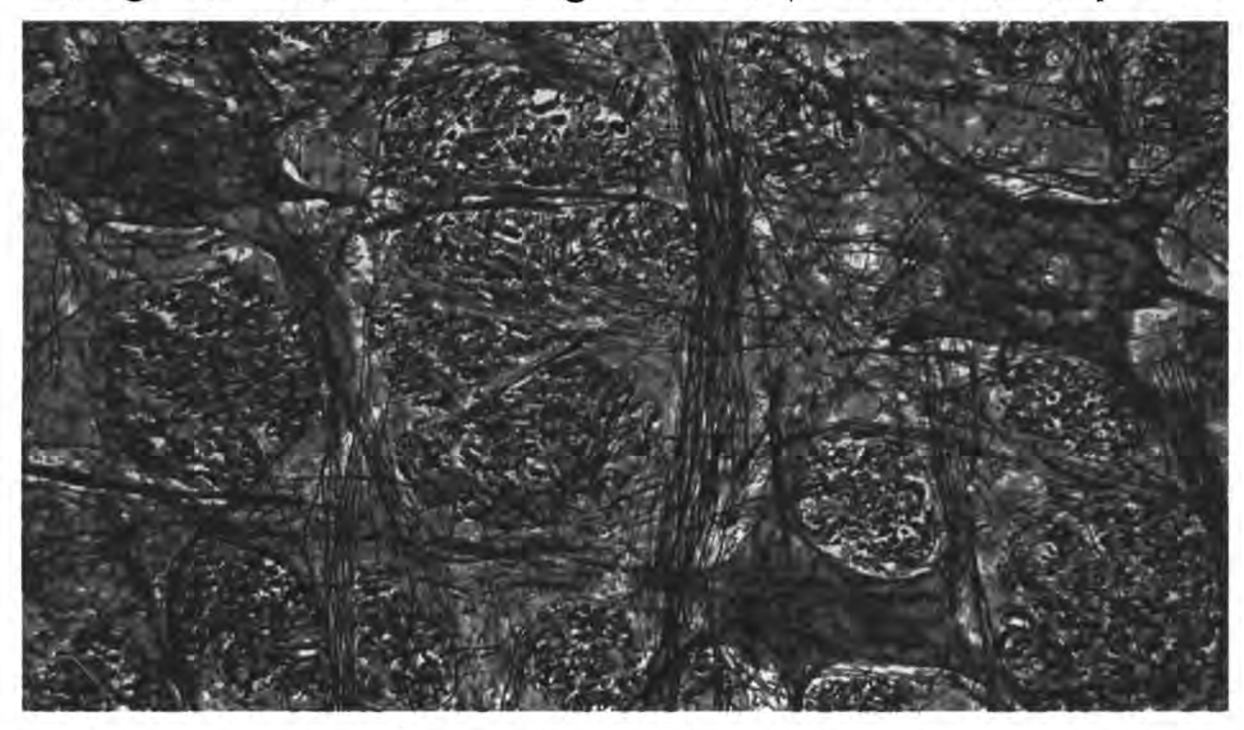
63. Ashkenazi, A. and Dixit , V. M., Science **281**, 1305 - 1308 (1998).

64. Raft. M., Nature **396**, 119 - 122 (1998).



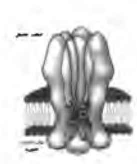
وتعوض عن العصبونات المستموتة. ولقد أحصى فريق سويدي وأمريكي مؤخراً تجدد ما بين 500 و 000 1 عصبون يومياً في منطقة الحُصين، (الجزء من الدماغ ذو العلاقة بالذاكرة)، وذلك لدى مرضى تتراوح أعمارهم ما بين 57 و 72 عاماً [65] (الشكل 8 . 5). وهكذا تم البرهان (ولأول مرة) على أن خلايا الدماغ (خلافاً للاعتقاد الشائع)، تستطيع أن تنقسم، وتجدد ما قد يستموت (يموت على نحو سوي) منها، أو يموت عرضاً. ويرى مؤلف هذا الكتاب أن كل نسيج من نسج الجسم الثمانمئة (أو أكثر) يحوي خلايا جذعية هاجعة. (انظر الفصل التالي -التاسع-).

ويرجع السبب الأساسي لموت الخلايا إلى هرم الجزيئات البيولوجية الكبرية واهتلاكها. إن لكل جزيء بيولوجي أجلاً محدوداً. وتتراكم (في إثر انقضاء هذا الأجل) الأخطاء الجزيئية، متمثلة بتدهور، يصيب بنى هذه الجزيئات، وينعكس على وظائفها. فتسوء جودة الأعمال المنجزة، وينهار تدريجياً مجمل التنظيم الخلوي، مسبباً موت الخلية. وبدهي أن تؤدي التأثيرات الخارجية (فيما عدا الموت الخلوي المبرمج في الجنين الذي يكون بمعزل عن هذه التأثيرات)، دوراً مهماً في موت الخلايا والأفراد. ومن الملاحظات الشائعة سهولة الإصابة بأمراض مختلفة مع تقدم عمر الفرد، والتي يكون بمنأى عنها في سن الفتوة والشباب. ويتفاقم أمر هذه الإصابات مع سوء التغذية مثلاً. فضرورة استمرار النوع رهن إذاً



الشكل 8 . 5. أ-صورة بالمجهر الإلكتروني التفرُّسي (الماسح) لمقطع في دماغ الإنسان (ناحية الحُصين hippocampus ذات العلاقة بالذاكرة) يُري عصبونات متجددة. لقد وجد الفريق الذي نشر هذا البحث أن ما بين 500 و 1000 عصبون تتجدد يومياً في هذه الناحية، واتضح ذلك بوسم خلايا الدماغ بالمركب: بروموديوكسي يوريدين (BrdU) أحد مضاهئات التيمين الذي يدخل في بنية DNA ، ADN عند الانقسام الخلوي. ومع أن دماغ الإنسان البالغ يتألف من مئة مليار (10^{11}) عصبون، فإنه لا يُعرف تماماً عدد الخلايا التي تنقسم يومياً لتعوض عن الخلايا المستموتة. ويرى مؤلف هذا الكتاب أن كل نسيج من نسج الجسم التي يفوق عدد أنماطها ثمانمئة نسيج (ويعتقد البعض أن عدد الأنماط هذه يزيد على أربعين ألف نمط) يحوي خلايا جذعية (جنينية) هاجعة، يمكن نظرياً عزلها وتكثيرها واستعمالها عوضاً عن خلايا تالفة (كما هي الحال في مرضى داء السكري حيث تتلف الخلايا بيتا التي تفرز الأنسولين في جزر لانغرهانس في البنكرياس، وفي مرضى داء باركنسون حيث تموت خلايا المادة السوداء في قاعدة الدماغ والتي تفرز الدوبامين) [الشكل عن(1998) Erikson et al., ، المرجع 65 ، ص. 17].

65. Eriksson, P.S.et al., Natur Medicine 11, 1313 (1998).





الشكل 5.8 -ب . صورة مجهرية لخلايا نجمية في الدماغ، درست بتقنية التألق المناعي. تظهر نوى هذه الخلايا باللون الأزرق. ان الخلايا النجمية في الدماغ تعاني في ما يبدو سيرورة التمايز، فهي إذاً نمط من انماط الخلايا الجذعية، تعوض عن الخلايا المستموتة [عن Pfrieger, F.et Steinmet, Z.C., La Recheree **361,** 50-54(2003)].

بحتمية موت أفراده. وغني عن البيان أن أمر معالجة المضمون الفلسفي والديني للموت (شأنه شأن كل ما عرضنا له) يقع خارج نطاق هذا الكتاب. وتجدر الإشارة أخيراً إلى أن الخلايا التي لا تموت أبداً (وتكون بهذا المعنى خالدة) هي الخلايا السرطانية. ومع أننا سنعرض إلى موضوع نشوء الخباثة (التسرطن) في الفقرة الأخيرة من هذا الفصل (الفقرة 8 . 4)، نكتفي حالياً بالقول إن الخلايا السرطانية تشبه كثيراً الخلايا الجنينية، التي فقدت برنامجها الزمني (أو ذاكرة الزمن)، فاحتفظت بخاصة الانقسام، وامتنعت عن التخصص والتمايز، لتقتل في نهاية الأمر الجسم الذي كان موئلها. وتبدأ سيرورة الاستموات دائماً في الكوندريات، حيث يفعّل شلال أنزيمات خاصة، تعرف بأنزيمات الكاسباز caspases.

8 .2. التخصص الخلوي البنيوي والوظيفي

تبدأ حياة الفرد من البيضة المُخصَبة، التي تنشأ نتيجة اتحاد النطفة (العروس الذكري) بالبيضة (العروس الأنثوي). ويؤدي هذا الاندماج إلى تنشيط البيضة، كي تبدأ تشكيل الجنين (الفرد). وتتنامى النطفة في الخصية والبيضة في المبيض، حيث يتم إعداد هاتين الخليتين (كل واحدة منهما فريدة الشكل، والبنية، والوظيفة، والمصير) لتشكيل الفرد. وإذا لم يتم اندماج العروسين خلال فترة معينة (طويلة نسبياً في ما يتعلق بالنطفة -48 ساعة لدى الإنسان-، وقصيرة فيما يتعلق بالبيضة من 6 إلى 8 ساعات لدى الإنسان)، فإن مصيرهما هو الموت المحتوم. وفي حين أن النطفة تُهيَّأ في الخصية لمهمة تفعيل البيضة، ونقل صبغيات (جينات) الأب إليها (لذا فهي تتقن حركة سباحية نشيطة، ويكون وزنها أقل ما يمكن)، فإن على البيضة تقع مهمة تشكيل الجنين، وتغذيته (على الأقل في مراحل تشكله الأولى). وتحوي البيضة (وهي لا تزال في المبيض) مخطط تشكيل الجنين بكامل تفاصيله [(3.8)]. والدليل الأوضح على أن التطور الموجه ذا المعنى أتى بالنطفة في التوالد الجنسي ليس للإسهام في تنفيذ مخطط تصميم الجنين (الموجود بكامله في البيضة)، بل من أجل التنوع البيولوجي

(3.8) لقد تساءل «أرسطو» Aristote (384-322 قبل الميلاد) عن السبب في أن لكل كائن حي نهايتين: أمامية وخلفية. لقد درس هذا الفيلسوف اليوناني (الذي كانت فلسفته عموماً صحيحة، وكانت فيزياؤه إجمالاً أقل صحة) تشكل جنين الدجاج، حيث اقتبس من علماء فراعنة مصر طريقة حضن الجنين، فكان يحمله حيناً تحت الإبط، ويضعه أحياناً أخرى تحت الوسادة. وظل التساؤل بلا إجابة دقيقة إلى أن تم ←



للأفراد، ذلك أن استبعاد النطفة في التوالد البكري أو التوالد العذري (تشكل الفرد من البيضة بمفردها دون إسهام العروس الذكري)، لا يخل إطلاقاً بسيرورات التشكل، التي تسير على نحو سوي تماماً (ما عدا أن الفرد المتشكل يكون نسخة مثيلة عن الأم، ويكون هذا التشكل نمطاً من أنماط التوالد اللاجنسي).

وما إن يتم اتحاد النطفة بالبيضة، حتى تسارع هذه إلى الدخول في سيرورات انقسامية، لن تمر بها في أي مرحلة من مراحل حياة الفرد. لقد أنقذها الإخصاب من الموت، وعليها أن تسرع في إنجاز المهمة الموكلة إليها -تشكيل الفرد. فالخلية الواحدة المتمثلة بالبيضة المُخصَبة للإنسان، تنشطر إلى مئة خلية خلال خمسة أيام. وبيضة الدجاج المخصبة على عجلة أكبر من أمرها، ففي أقل من 48 ساعة تتحول من خلية واحدة إلى قرابة خمسين ألف خلية. إن كل ما يحدث للبيضة المخصبة مبرمج تماماً في متصلة المكان-الزمن ذات الأبعاد الأربعة.

← في مطلع ثمانينات القرن الماضي اكتشاف الجينات المثلية homeogenes، homeogènes من النمط Hox، التي ترمّز بروتينات النهاية الأمامية للجسم (أقسام الرأس والصدر). وتُفعّل هذه الجينات قبل الجينات الأخرى، لتشكل النهاية الأمامية للفرد. ولا يمكن فهم أسباب تفعيل هذه الجينات في الزمن (أي قبل الجينات الأخرى إلا بمفهوم التطور الموجه ذي المعنى، الذي سيتوّج بالضرورة بنشوء حياة ذكية). والجينات المثلية تسلسلات من DNA، ADN، تنفذ مخطط تشكيل الجنين. إنها ترمز عوامل التشكل morphogenes، morphogènes (كالبروتيناتHox في الفقاريات، والبروتين البيكوئيدي في ذبابة الفاكهة، التي هي جزء أساسي من عوامل الانتساخ). إن عوامل التشكل هذه ترتبط بتسلسلات محددة في المحضض، أو في المعزز، أو في كليهما، حيث يحوي كل منهما التسلسل تاتا أو كات (يُرجع إلى الفقرة 7.6 والحاشية 7). هذا ويمكن الرجوع إلى المرجع 66 للوقوف على تفصيلات وافية عن الجينات المثلية. ولا بد من التوقف في هذا الصدد عند لحظة محددة من تاريخ تطور المجموعات الحيوانية، حيث ظهرت فجأة (في المقياس الزمني للتطور) كل مخططات تصميم أجسام المجموعات الحيوانية كما نعرفها اليوم. وكما سبق أن عرضنا غير مرة، فإن السجل الأحفوري (المستحاثي)، يشير إلى أن أول البكتيريا البدائية ظهرت بعد انقضاء 900 مليون عام على تكون الأرض (الذي حدث قبل 4.6 مليار عام). ومنذ ذلك الزمن (أي قبل 700 3 مليون عام)، وحتى ما قبل 550 مليون عام (أي طوال حقبة امتدت قرابة 150 3 مليون عام)، كانت هنالك مجموعات من كائنات حية بدائية، حيوانية النزوع (أشباه الإسفنجيات ومعائيات الجوف أي أسلاف الإسفنج وقناديل البحر)، يصعب أن نجد لها مكاناً ملائماً في تصانيفنا الحالية. وفي ذلك الزمن بالذات، وحيث كانت قشرة الأرض تمر بما يعرف جيولوجياً بالزمن الكمبري cambrian، cambriane (أي قبل 550 مليون عام تقريباً)، حدث ما اتفق على تسميته بالانفجار الأعظم في تطور الحيوان[67] فظهرت على الأرض، وعلى نحو مفاجئ (في مقاييس الأحقاب الجيولوجية)، كل مخططات تصميم أشكال حيوانات اليوم (اللافقارية منها والفقارية)(انظر الفقرة 3.2.8). وبكلمة أخرى، تم في ذلك الزمن تراتب متناسق للجينات المثلية التي ترمز النمط الظاهري (أي ترمّز مخططات تصميم أجسام المجموعات الحيوانية التي نعرفها حالياً). كما تم، وعلى نحو مفاجئ أيضاً، تفعيل هذه الجينات لتنفذ المخططات التصميمية، وتتشكل (بناء على ذلك) حيوانات لها كلها (ما عدا الإسفنجيات، ومعائيات الجوف، وزمر ثانوية أخرى ذات تناظر شعاعي) محور أمامي خلفي، وذات تناظر جانبي (أي أن للجسم محوراً، تتناظر على جانبيه البنى)[67-69]. **لقد كان تشكل هذا المحور الأمامي الخلفي وهذا التناظر (الذي جعلت منه الحياة مبدأً تلتزم به وتتوخاه باستمرار) الخطوة التطورية المهمة الثانية بعد تشكل عديدات الخلايا، التي مثّلت السيرورة الأساسية في تطور ذي معنى، يفضي إلى ظهور حياة ذكية. إن هذا التناظر لم يكن مصدراً لأداء وظيفي أفضل فحسب، إنما كان مصدراً لجمال أخّاذ.** وقد يذكرنا هذا التناظر الفائق بتناظر الكون عند حدوث الانفجار الأعظم، وكيف كانت تنفصل كل قوة من قوى الطبيعة الأربع بعضها عن بعض نتيجة حدوث انتقال طوري يؤدي إلى انكسار التناظر الفائق. فالكون ليس مفطوراً على التناظر وحسب، والطبيعة لا تحبذ التناظر فقط، بل إن هذا التناظر هو جزء أساسي من بنية هذا الكون (فلكياً وفيزيائياً وكيميائياً وبيولوجياً)، وأحد العوامل الرئيسة المسؤولة عن جمال الطبيعة.

66. Gilbert, S. F., **"Developmental Biology"**. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, U.S.A (1994).
لقد تمت ترجمة هذا الكتاب إلى الفرنسية.

67. Gro, M., La Recherche **321** , 42 – 45 (1999).
68. Witkowski, N., La Recherche **305** , 26 – 30 (1998).
69 . Moller , A. P., La Recherche **304** , 50 – 55 (1997).

هذا، ويمكن الرجوع إلى المقالة الموسومة بالعنوان «الانفجار الأعظم في تطور الحيوان»، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **10**، العددان **8** و **9** أغسطس / سبتمبر (آب/ إيلول) 1994، الصفحات 20–29.



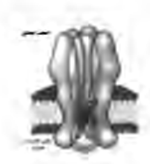
وما إن يصبح عدد الخلايا كافياً (تَحقّقْ العدد الحرج) للانتقال إلى المرحلة التالية، حتى تتباطأ الانقسامات الخلوية، لتفسح المجال أمام هجرة هذه الخلايا كي تشكل ثلاث طبقات خلوية تتوضع الواحدة منها حول الأخرى، وهي: الأديم الباطن والأديم المتوسط والأديم الظاهر. ومن هذه الطبقات تتشكل أعضاء الفرد. فمن الأديم الباطن يتشكل جهاز الهضم والغدد الملحقة به (الغدد اللعابية والكبد والبنكرياس وكذلك جهاز التنفس). ويغطي الأديم الظاهر الجسم، ويعطي أيضاً الجملة العصبية، وأعضاء الحواس الملحقة بها، كي تكون على اتصال مباشر بالوسط الخارجي، وخلايا العرف العصبي. أما الأديم المتوسط، فيشكل بقية نسج الجسم وأعضائه (العضلات والعظام والدم وأعضاء الدوران وجهاز الإفراغ). وتتشكل هذه البنى تشكلاً مبرمجاً في المكان والزمن. ومع أن هذه البرمجة مرمزة ظاهرياً في النمط الجيني للفرد، إلا أن هذه البرمجة ليست صارمة في الحالة التجريبية، ويمكن لخلايا أديم ما أن تعطي خلايا أديم آخر. بيد أن الغاية من هذه البرمجة واضحة الهدف: تشكيل فرد سوي يماثل الأبوين. **وكما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الحاشية 12.7)، فإن التعبير الجيني التفاضلي (بما في ذلك وراثة ما فوق الوراثة) هو المسؤول من حيث الأصل عن اشتقاق خلايا متباينة البنية والوظيفة والشكل (خلايا عصبية، وأخرى عضلية، وثالثة دموية ...)، بدءاً من خلية واحدة هي البيضة المخصبة.** إن هذا التعبير الجيني التفاضلي لا يتم (كما أشرنا سابقاً) تلقائياً، بل بتأثير جزيئات (معظمها من طبيعة بروتينية)، تكون مغروزة في الغشاء الخلوي، أو موجودة داخل الخلية نفسها. كما يمكن لهذه الجزيئات أن تأتي من خارج الخلية، وقد تكون على شكل أيونات بسيطة (مثل HCO_3^-).

ويمكن إجمال هذه الجزيئات البروتينية على النحو التالي:

1. المستقبلات
2. عوامل النمو
3. بروتينات الصدمة الحرارية

1.2.8. المستقبلات

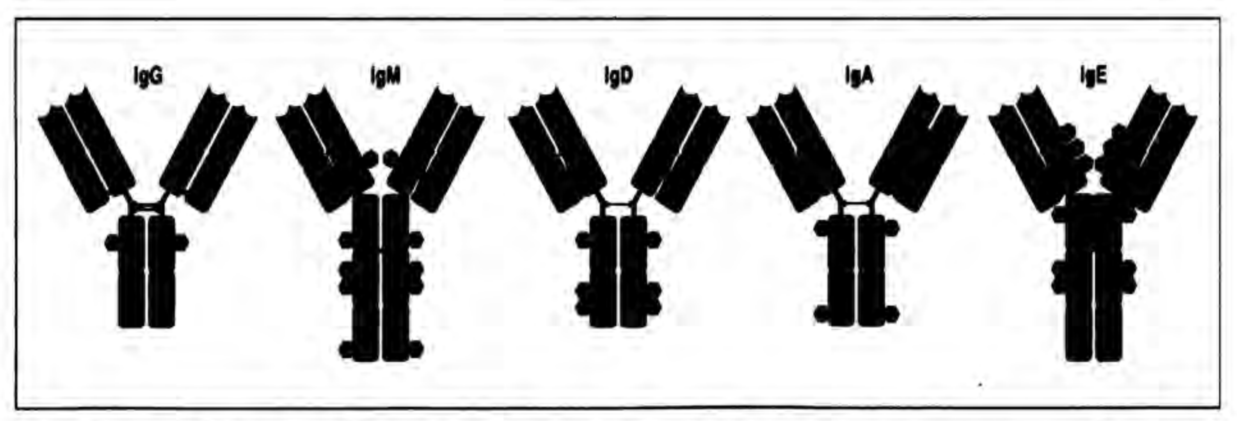
المستقبلات هي جزيئات بروتينية سكرية (غالباً ما يرتبط البروتين في حقيقيات النوى بجزيئات سكرية، ويحدث ذلك في جهاز غولجي، وتعرف السيرورة بالغلكزة)، وتتوضع إما مغروزة في غشاء الخلية، بارزة على سطحه، وأحياناً تكون ضمن السيتوبلازما (مستقبلات الستيرويدات)، ونادراً ما تكون في النواة نفسها (مستقبلات الريتينويدات). وسميت مستقبلات receptors، recepteures لأنها تنبئ الخلية بما يحيط بها بوساطة مواد نوعية، تتعرفها، وتترابط بها (التعرف الجزيئي). كما أنها تعمل في معظم الأحيان على إدخال الجزيء الذي يترابط بها (ويعرف بالربيطة ligand) داخل الخلية. فسكر الدم مثلاً، يدخل خلايا الجسم بمساعدة مستقبل ذي علاقة بالأنسولين. وما إن تنقسم البيضة المخصبة عدداً من المرات، ويتشكل لدينا نمطان خلويان فقط، حتى يضع كل نمط خلوي على سطحه مستقبلات متباينة عن مستقبلات النمط الخلوي الآخر. وتصبح المستقبلات تخصصية أكثر كلما تقدمت مراحل التنامي بالجنين. ويملك كل نمط خلوي متمايز مستقبلات خاصة به (هنالك مستقبلات عامة توجد في الأنماط الخلوية كافة). **وبالنظر إلى أن مكان توضع كل نمط خلوي، يختلف عن مكان توضع أي نمط خلوي آخر (في ما يتعلق بالخلايا والجزيئات المحيطة)، فإن كل نمط خلوي، يتلقى معلومات (أو إشارات) مختلفة عن أي نمط خلوي آخر. إن هذه المعلومات، أو الإشارات، تُنقل إلى**



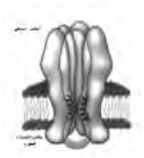
الجينات، إما على نحو غير مباشر (عندما يكون المستقبل مغروزاً في غشاء الخلية)، أو على نحو مباشر (عندما يكون المستقبل داخل السيتوبلازما أو النواة). ويمكن، بناء على ذلك، أن نفهم (ولو بتبسيط شديد) بعضاً من آلية التعبير الجيني التفاضلي. وإذا كانت الخلايا تؤدي وظائفها على نحو سوي، فإنما يرجع ذلك أيضاً إلى ترابط ربيطات نوعية بمستقبلاتها الخاصة بها. فالمستقبلات لا تؤدي دوراً حاسماً في إحداث التباين في ما يتعلق بتعبير الجينات (التعبير الجيني التفاضلي)، وترسيخ سيرورة التمايز، بل إنه لا يتم في الكائن الحي أي فعل وظيفي إلا ويكون أساسه ترابط ربيطة بمستقبل (بدءاً من إخصاب البيضة بالنطفة حتى موت الفرد الذي تشكل من هذه البيضة المخصبة). وبالإضافة إلى الربيطات (التي يترابط كل نوع منها بمستقبله الخاص به)، فإن الخلايا تكون عادة مفصول بعضها عن بعض بشبكة متغصنة من الجزيئات، تفعّل هي نفسها أيضاً مستقبلات الخلايا، وتؤدي دوراً مهماً في إحداث التعبير الجيني التفاضلي، وفي أداء الخلايا لوظائفها. وتعرف هذه الشبكة المتغصنة بالأمهة خارج الخلايا matrice extracellulair ,extracellular matrix. وتنجم أمراض عديدة إما من عيب في بنية المستقبلات، أو من تخرب يصيبها (كضمور أو اعتلال العضلات، وداء السكري ...).

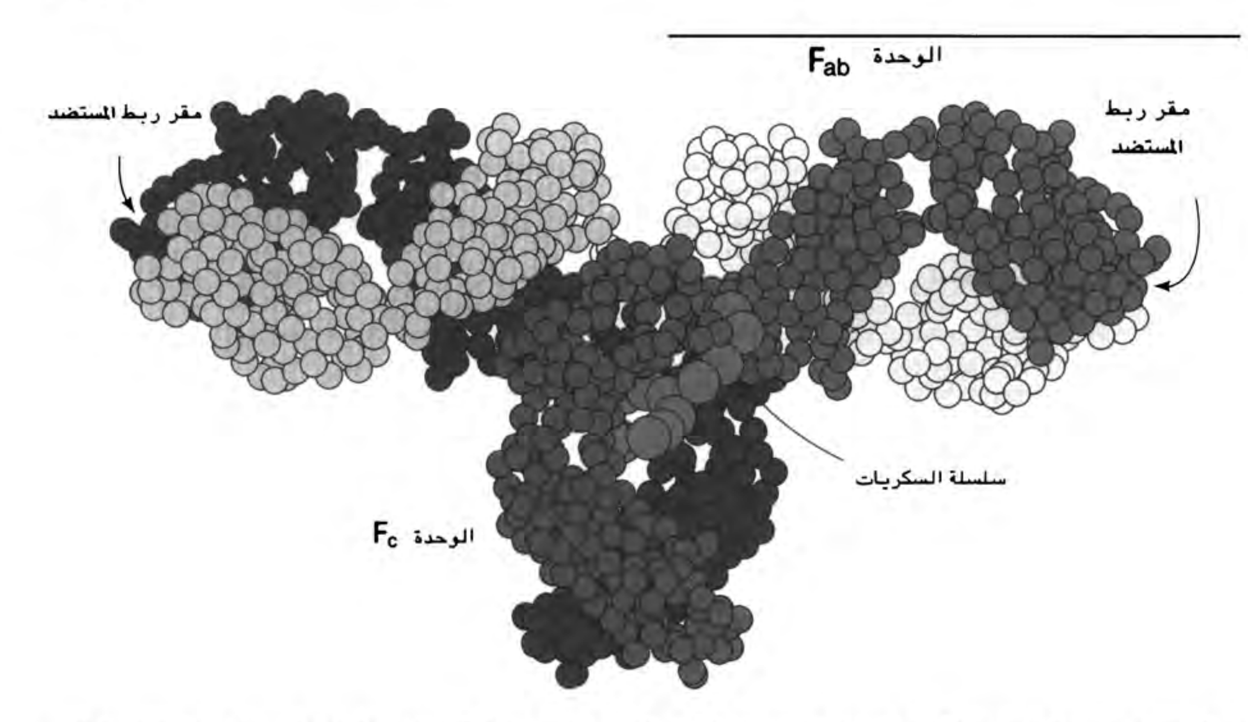
وكما سبق أن أشرنا، فإن المستقبلات تقوم بوظائفها نتيجة ترابطها بربيطاتها النوعية. ويكون هذا الترابط عكوساً، ويخضع أداؤه (كأي تفاعل كيميائي آخر) لقانون فعل الكتلة (أي لعدد المستقبلات والربيطات المتفاعلة، انظر نهاية الحاشية 4.8). ونذكر أخيراً أن بعض المستقبلات الغشائية تعمل كأنزيمات كيناز (تضيف زمرة الفسفات إلى البروتين، فتفعله)، أو كأنزيمات فسفتاز (تزيل زمرة الفسفات من البروتين، فتخفض - في معظم الأحيان - فاعليته). وهنالك عائلة من المستقبلات يبلغ عدد أفرادها أكثر من 135 نوعاً، تتوضع على سطوح الخلايا، ويطلق عليها اسم الواسمات markers، marquers، وتعرف عامة بتعنقدات التمايز clusters of differentiation(CD)، ويعمل معظمها كمستقبلات كينازية أو فسفتازية[(4.8)].

(4.8) يصعب كثيراً وضع تصنيف واحد يشمل المستقبلات المغروزة في الأغشية الخلوية كلها. فبالإضافة إلى الغلوبلين المناعي (أو الضد) من الصف M (Ig M) الذي يعمل كمستقبل للمستضد، والصف G (IgG) الذي يترابط بالمستضد (الشكل 8.6)، ←

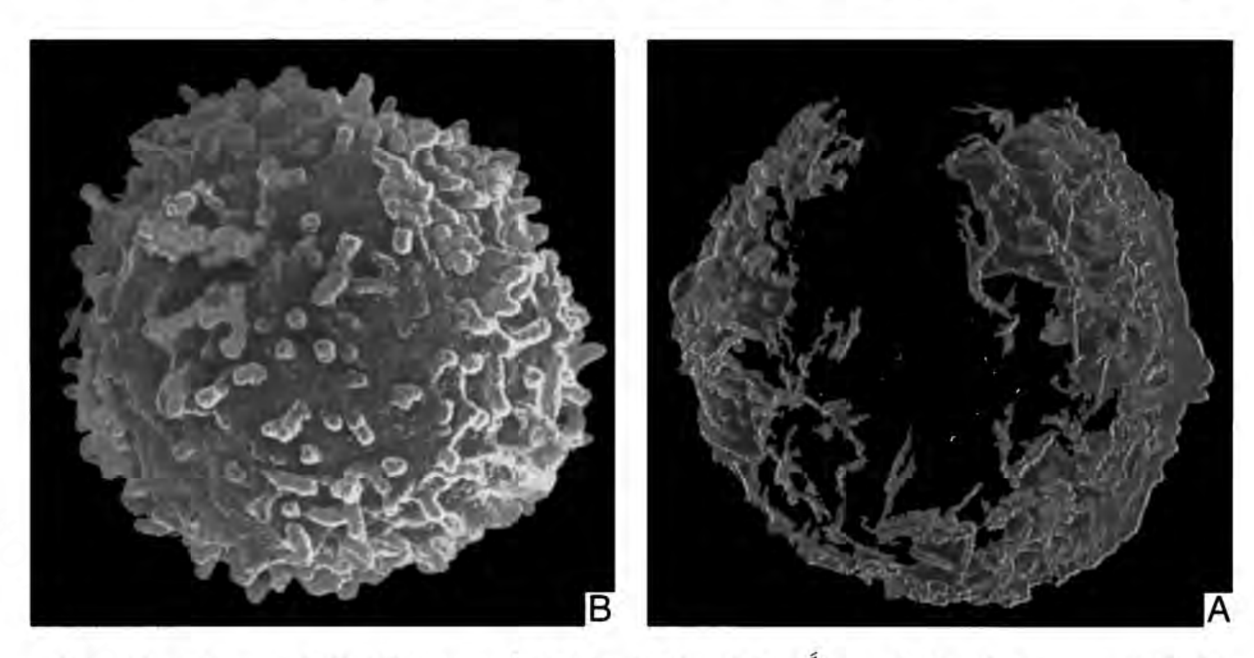


الشكل 8.6 - أ. مخطط ترسيمي لجزيئات الصفوف الخمسة (IgM, IgD, IgG, IgA, IgE) للغلوبُلينات المناعية. يُعَدُّ الصف M أقدم هذه الصفوف تطورياً. ولهذا، فإن هذا الجزيء يظهر كأول غلوبُلين مناعي تركبه اللمفاويات البائية (انظر الشكل 8.6 - ج) لدى تمايزها في نقي العظم، ليعمل كمستقبل غشائي للمستضد. ولقد أوردنا مع IgM (للمقارنة) الصفوف الأربعة الأخرى. وتجدر الإشارة إلى أن الجزيء الغشائي (المغروز في الغشاء) يحوي تسلسلاً مكارهاً للماء يثبته في الغشاء البلزمي (26 ثمالة حمض أميني)، و يستمر في العصارة الخلوية بتسلسل قدره ثلاث ثمالات فقط (عن Janeway et al,1999، المرجع I- 72، ص. 102).

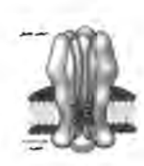




الشكل 6.8 ـ ب . طراز مليء الأحياز للبنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية لجزيء الغلوبُلين المناعي (الضد) من الصف G (IgG) السائد في المصل ، وتفرزه البائيات في إثر التعرض الثاني للمستضد (الاستجابة المناعية الخلطية الثانوية) . لقد مُثلت كل ثمالة من ثمالات الحموض الأمينية بكرة صغيرة ، وإحدى السلستين الثقيلتين (H ، من heavy وهي غاما) بالأحمر العاتم ، والأخرى بالأزرق العاتم أيضاً . كما مُثِّلت إحدى السلسلتين الخفيفتين (L ، من light ، وهي كابا أو لامدا) بالأحمر الفاقع ، والأخرى بالأزرق الفاقع أيضاً . ومُثِّلت إحدى التفرعات السكرية المرتبطة بالمجال الثابت الثاني من السلسلة الثقيلة (CH2) بالأصفر (عن Stryer,1995 ، المرجع 30، ص. 376) .

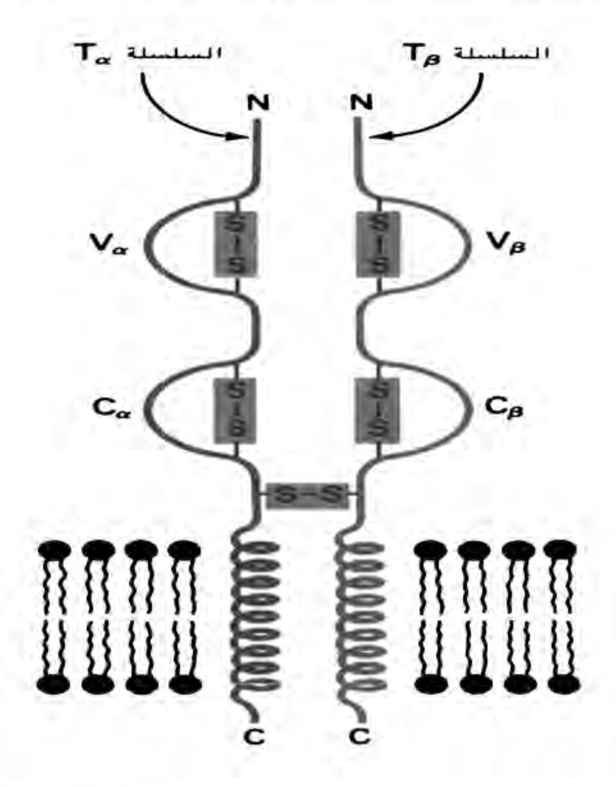


الشكل 6.8 ـ جـ. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرُّسي (الماسح) لخلية بائية (A) وأخرى تائية (B) . لاحظ بروزات الغشاء البلزمي، التي تحمل مستقبلات عديدة ذات وظائف مختلفة . ويعد جزيء الغلوبُلين المناعي M (IgM) ، ومستقبل التائية (TCR) من بين أهم هذه المستقبلات الغشائية . وتنغرز في الغشاء أيضاً جزيئات تعنقد التمايز (CD) ، وبروتينات أخـــرى لنقل الإشارات الخلوية بالتنبيغ ، وأنزيمات ←



كينازية وفسفتازية وأخرى غيرها . وكما هو معلوم ، تتمايز البائيات والتائيات (كخلايا الدم كافة) في نقي العظم ، حيث تتم إعادة تراتب جينات مستقبلات البائيات والتائيات . وينجم عن إعادة هذا التراتب أن تصبح كل خلية متفردة بذاتها ، لا تتماثل مع أي خلية أخرى ، أي أن كل بائية تحمل مستقبلاً من IgM يختلف مقر ربط المستضد فيه عن أي مستقبل تحمله أي بائية أخرى . وكذلك هي الحال في ما يتعلق بمستقبل التائية(TCR). ويرجع سبب هذا التنوع الكبير إلى أن هذا التمايز (إعادة التراتب) منوط بالوسط الصِغري الذي يحيط بكل بائية أو تائية ، وبتأثرات الخلية الواحدة بما يحيط بها من خلايا . وهذا ما يعرف بالمعلومات الموضعية . وبسبب التنوع الهائل لطبيعة هذه المعلومات ، فإن الخلايا البائية والتائية تستعمل كامل إمكان أشكال تراتب الجينات المعنية بتكوين هذه المستقبلات . وعندما تغادر البائيات والتائيات نقي العظم (ويفترض وجود أكثر من مليار نوع من البائيات ، وربما مثل ذلك من التائيات) ، وتصبح في الدوران ، فإن التائيات تستتبيت في التوتة لتعاني تربية انتقائية ، فينقلب المستقبل TCR (من T-cell receptor) الذي يتألف من سلسلتين بيتا وغاما إلى TCR-1 (الذي يتألف من السلسلة بيتا نفسها وأخرى دلتا) في 5 % من الخلايا. في حين ينقلب هذا المستقبل إلى TCR-2 (الذي يتألف من السلسلة بيتا نفسها وأخرى ألفا) في 95 % من الخلايا. وتستموت في التوتة الخلايا التائية التي لاتعاني هذا الانقلاب بسبب ألفتها العالية لبروتينات الجسم (الذات) ، فيتم تجنب حدوث أمراض المناعة الذاتية . أما البائيات ، فتجول في الدوران حتى تلتقي المستضد. وبتأثير من قبل تائية نوعية مساعدة Th1 أوTh2 (من t تائية، من thymus ـ التوتة ـ ، و h من مساعدة (helper) ، كانت قد تعرفت المستضد محمولاً على جزيء معقد التوافق النسيجي الكبير (MHC)، (CMH) ، ومعروضاً على سطح خلية مقدمة للمستضد ، وكانت قد تعرفت هي الأخرى هذا المعقد معروضاً على سطح البائية التي كانت قد التقته لأول مرة ، وبتأثير من الإنترلوكين ـ1 الذي تفرزه الخلية العارضة مقدمة المستضد (وليس البائية العارضة) ، تفرز التائية عندئذ الإنترلوكين ـ 2 فتنشط ، وتنقسم لتعطي خلايا إما من النمط Th1 أو من النمط Th2 . تفعِّل هذه التائيات الخلية البائية عارضة المستضد ، فتنقسم لتشكل آلاف الخلايا البائية النوعية الخاصة بهذا المستضد (وليس بما يختلف عنه) وتعرف هذه الخلايا بالنسيلة clone , clon . يتحول قسم من هذه الخلايا إلى بلزميات تفرز ضداً نوعياً خاصاً بهذا المستضد ، فيعمل الضد على تعطيل المستضد . ويتحول القسم الآخر من البائيات ، كما يتحول قسم من الخلايا Th1 أو Th2 ، إلى خلايا ذاكرة ، تتذكر المستضد إذا ما دخل الجسم مرة ثانية ، وتبني ضده على نحو سريع نسبياً استجابة مناعية ملائمة [الشكل (A) عن Mackay, 1999 ، المرجع 76 ، ص. 269 . الشكل (B) عن Bach, J-F., La Recherch **326** , 48-53 (1999) انظر أيضاً الشكل 9 . 22 ـ ب]

←وبالإضافة إلى الصف D (IgD) الذي يعمل كذاكرة على سطح اللمفاويات البائية للجهاز المناعي، التي تفرز الاضداد، بالإضافة أيضًا إلى مستقبلات الخلايا التائية للجهاز المناعي (الشكل 8 .7- أ و ب)، ←

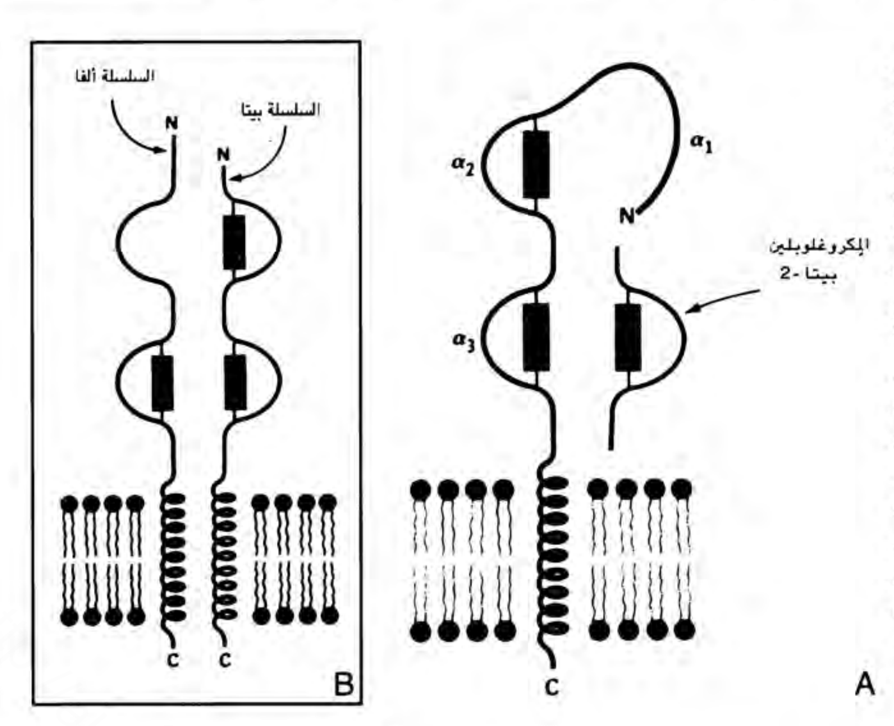


الشكل 8 . 7 ـ أ . مخطط ترسيمي لمستقبل اللمفاوية التائية المنغرز في الغشاء البلزمي لهذه اللمفاوية . يتألف المستقبل من سلسلتين هما إما ألفا وبيتا ، أو غاما ودلتا ، ولكل منهما (كجزيء الغلوبُلين المناعي) مجال ثابت C ، ومجال متغير V ، يربط بينهما جسر ثنائي السلفيد (‎–S–S–‎) (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 382) .



الشكل 8 . 7 ـ ب . مخطط ترسيمي لترابط مستقبل الخلية التائية (المساعدة أو القاتلة ، الأزرق) بالمستضد (الأصفر) المحمول على جزيء معقد التوافق النسيجي الكبير من أحد الصفين الأول أو الثاني (I أو II ، الأحمر) . ويساعد مستقبلَ التائية على تعرف المستضد (تسلسل قصير من تسعة حموض أمينية في حالة الصف الأول ومن 14 إلى 30 حمضاً أمينياً في حالة الصف الثاني) أحدُ جزيئات تعنقد التمايز CD (غير موضح في الشكل) [الشكل عن [Garcia, K. Ch. Et al., Science **274**,209-219(1996) و [عن Service, R. F., Science **274**,176-177(1996)] . ويقترح المؤلف على القارئ أن يطّلع على الشكلين الموجودين على غلاف هذا العدد (من المجلد **274**) من مجلة Science .

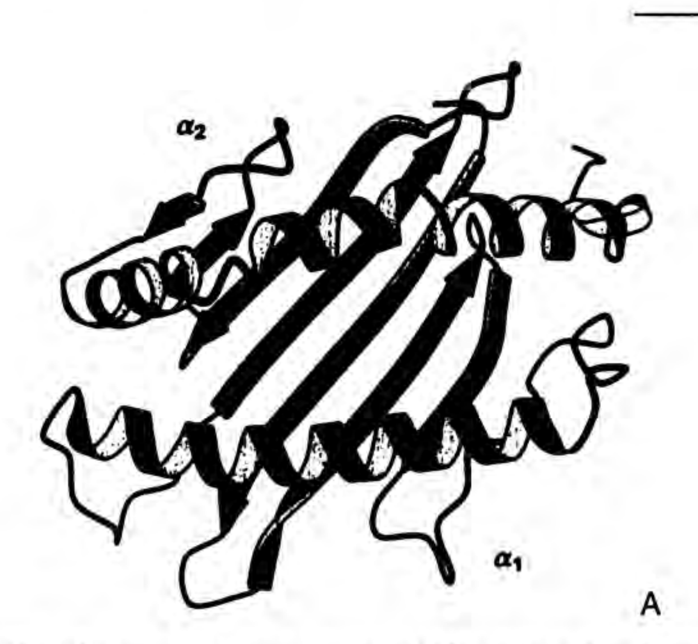
← وإلى جزيئات صفي معقد التوافق النسيجي الكبير major histocomatibility complex (MHC) ,complexe majeure d his tocompatibilité (CMH) الشكلان 8 . 8 و 8 . 9) (يمكن الرجوع إلى المراجع 30 و 70 و 71 و72.I مثلاً بالإنكليزية ، وإلى المرجع 72 بالفرنسية ، ←

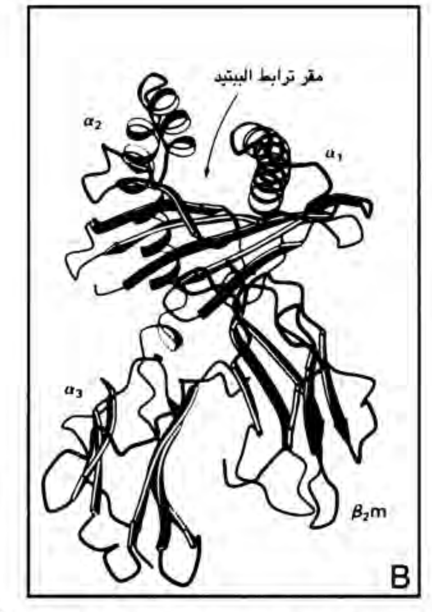


الشكل 8 . 8. مخطط ترسيمي لجزيء الصف الأول ـ I ـ (A) ، ولجزيء الصف الثاني ـ II ـ (B) لمعقد التوافق النسيجي الكبير ، منغرزين في الغشاء البلزمي لكل خلية منوّاة من خلايا الجسم . ويحدد هذان الجزيئان الهوية البيولوجية الشخصية لكل فرد من أفراد البشر ، لأنهما يختلفان من إنسان لآخر ، ولا يتماثلان تماماً (كل مع نظيره) إلا في أفراد توائم البيضة الواحدة . إن هذين الجزيئين مسؤولان إذاً عن رفض الطعوم في عمليات اغتراس الخلايا أو النسج أو الأعضاء . لاحظ كيف أن مكان ترابط المستضد في جزيء الصف الأول (بين المجالين ألفا 1 وألفا2 يكون مغلقاً (انظر الشكل 8 . 9)، بينما يكون مفتوحاً في جزيء الصف الثاني (بين السلسلتين ألفا وبيتا) (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 381) .

70. Roitt, I. et al., "**Immunology**" , Forth Edition. Mosby, London (1993) . لقد ترجم هذا الكتاب إلى الفرنسية .
71. Abbas, A. K. et al., "**Cellular and Molecular Immunology**" , W. B. Saunders Company , London (1994).
72 . Bach, J-F., " **Immunologie**" , Flammarion , Médecine-Science, Paris (1985).
72-I. Janeway, Ch. A. et al., "**Immuno-Biology**" . Elsevier Science Ltd, Garland Publishing , New York (1999).

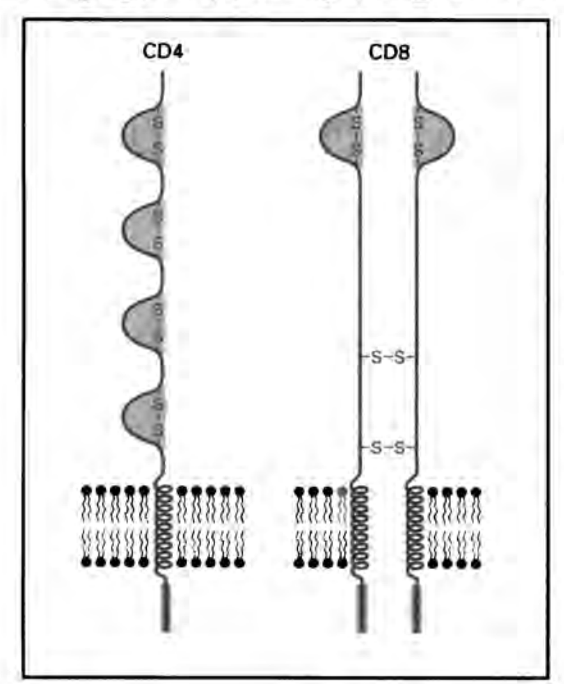


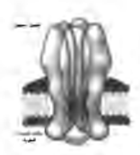


الشكل 8 . 9. مخطط ترسيمي للبنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية لجزيء الصف الأول (I) المسؤول عن المناعة الخلوية، ولجزيء الصف الثاني (II) المسؤول عن المناعة الخلطية. يتم وضع البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد للجزيء البيولوجي عامة بتقنية انعراج الأشعة السينية . لقد مُثِّل المجال ألفا I بالأزرق ، والمجال ألفا 2 بالأحمر ، وبينهما الفلح الذي يترابط به المستضد (ببتيد يتألف من 9 ثمالات حموض أمينية) . ومُثِّل المجال ألفا 3 بالأخضر . كما مُثِّل جزيء المكروغلوبين بيتا - 2 بالأصفر . وتتألف الأشرطة الرفيعة في بنية الجزيئين من حلزونات ألفا (كبنية ببتيدية) ، في حين تتألف الأشرطة العريضة السهمية من مُلاآت بيتا المثناة . (A) الجزيء في منظر جبهي ، (B) الجزيء في منظر علوي . لاحظ أن قاع فلح ترابط المستضد يتألف من ثماني من مُلاآت بيتا المثناة (B) . إن لقاع فلح ترابط المستضد في جزيء الصف الثاني - II - لمعقد التوافق النسيجي الكبير بنية فراغية مثيلة (أي يتألف قاع الفلح من ثمانية مُلاآت بيتا) (الشكل عن Stryer , 1995 ، المرجع 30 ، ص . 381 و 382

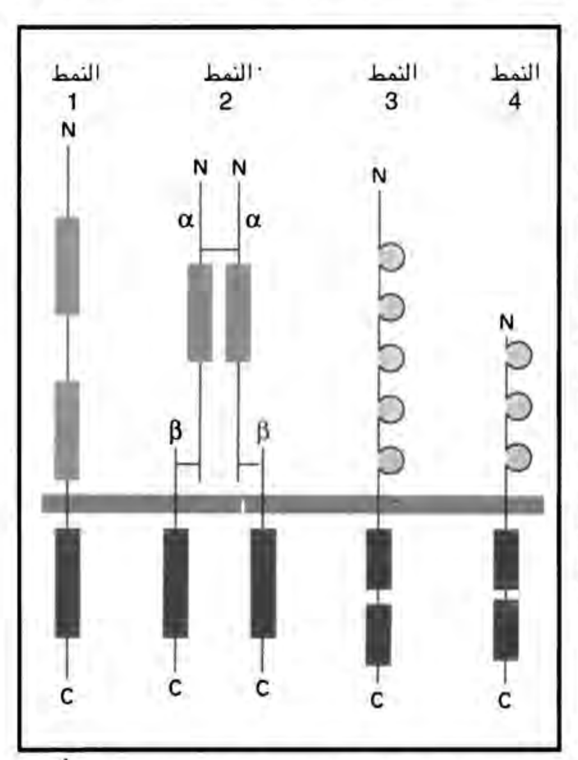
← وإلى كتاب « **مقدمة في علم المناعة الجزيئي** »، 1992، للمؤلف، منشورات جامعة دمشق)، وبالإضافة أيضاً إلى جزيئات تعنقد التمايز CD البالغ عددها أكثر من 135 نوعاً تقريباً (الشكل 8 . 10 كمثال على هذه الجزيئات)، بالإضافة إلى كل هذا، ←



الشكل 8 . 10. مخطط ترسيمي لجزيئين من جزيئات تعنقد التمايز ، هما CD4 و CD8 . إن هذين الجزيئين هما بروتينان غشائيان من بروتينات الخلية التائية يساعدانها على تعرف الجزيء ثنائي القُسَيِّم الذي يتشكل لدى ترابط الببتيد المستضد بجزيء معقد التوافق النسجي الكبير على سطح الخلية الهدف. يحوي كل من الجزيئين مجالات تقع خارج الخلية التائية (الأزرق) تشبه مجالات جزيء الغلوبُلين المناعي . إن الذيل الموجود في العصارة الخلوية لكل سلسلة (الأصفر)، يترابط بأنزيم من أنزيمات كيناز التيروزين ($P56^{lCK}$) ، يؤدي دوراً مهماً في صدور الإشارة عن اللمفاوية التائية . إن طول التسلسل الذي يقع ضمن غشاء الخلية يبلغ عادة ما بين 22 و 26 ثمالة حمض أميني تكون كلها مكارهة للماء (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30 ، ص . 384) .

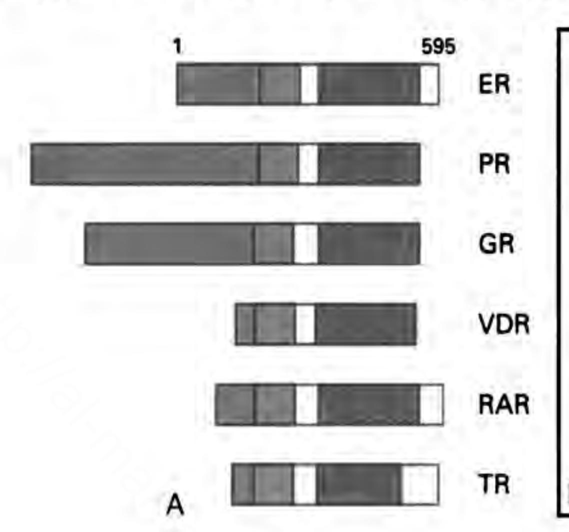


← يمــــكن تصنيف جزء كبير من المســـتقبلات في أربعة أنمــاط، تعـمـل كـلـهـا كأنزيمـات كيناز (أي تفســفر البروتين) (الشــكل 11.8). **فالنمط الأول**، يتمثل (بأبسط شــكل له) في مستقبل عامل نمو الظهارة (EGFR)، ويبّسط مســتقبل الأنســولين (IR) **النمط الثاني**.

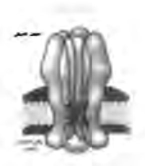


الشكل 11.8. مخطط ترسيمي لأربعة أنماط (صفوف) من مستقبلات كينازات التيروزين (الأخضر و الأزرق)، مغروزة في أغشية الخلايا (الأحمر). إن القســم خـارج الخلية من النمطين 1 و 2 (الأخضر) هو مستقبل غني بالسيستئين . أمّا النمطان 3 و 4 من هذه المستقبلات، فيحوي كل منهما مجالات خارج الخلية تماثل بنية جزيء الضد (الأزرق) . إن المجالين الأنـزيميين للنمطين 3 و 4 اللـذين يعملان كأنزيمي كيناز داخل العصارة الخلوية غير مستمرين ، حيث يعترض كل مجال منهما تسلسل ببتيدي لا أنزيمي . لقد مُثلت المجالات الكينازية للتيروزين بالأحمر. لاحظ في النمط 2 وجود جسر ثنائي السلفيد، يربط كل من السلسلتين ألفا ببعضهما البعض قرب النهاية الأمينية . كما أن جسرين سلفيدين يربطان كل سلسلة ألفا (من السلسلتين) بإحدى السلسلتين بيتا (الشكل عن Stryer,1995، المرجع 30 ، ص. 351) .

أما النمط الثالث من المستقبلات، فيبّسطه مستقبل عامل النمو المشتق من الصفيحات(DGFR-P)، ويبسط مستقبل عامل نمو الأُرومة الليفية (FGFR) النمط الرابع. ولابد من الإشارة إلى أن صعوبة وضع تصنيف واحد يشمل المستقبلات كافة، إنما ترجع إلى شدة تنوع هذه المستقبلات المغروزة في غشاء الخلية، والتي يمكن اعتبارها كحواس للخلية. أما في ما يتعلق بالمستقبلات الموجودة في السيتوبلازما وفي النواة، فيمكن تبسيط أنماطها بالشكل 12.8. وترتبط بهذه المستقبلات الهرمونات الستيرويدية (كالإستروجين والبروجسترون مثلاً). وبدهي أن تعبر هذه الهرمونـات الغشاء البلزمي دونما واسطة لأنها ذوّابة بالليبيدات (الشـحوم) الفسفورية للغشــاء الخـلوي. ←

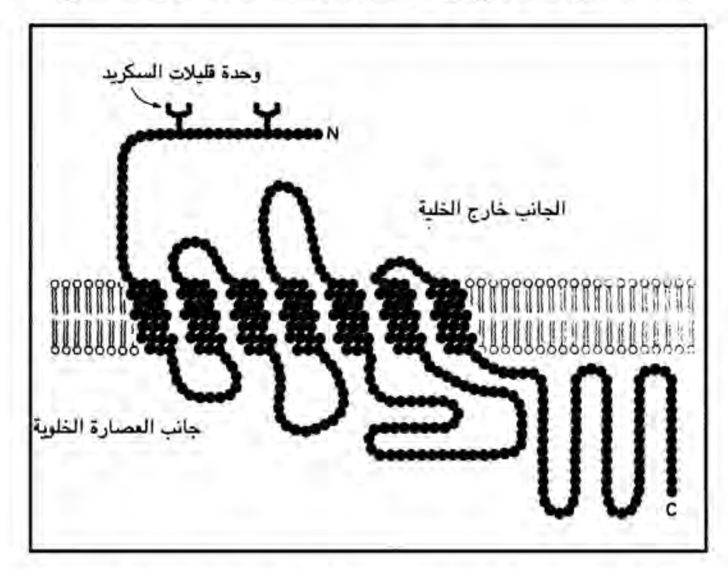


الشكل 12.8 (الشرح في الصفحة التالية)

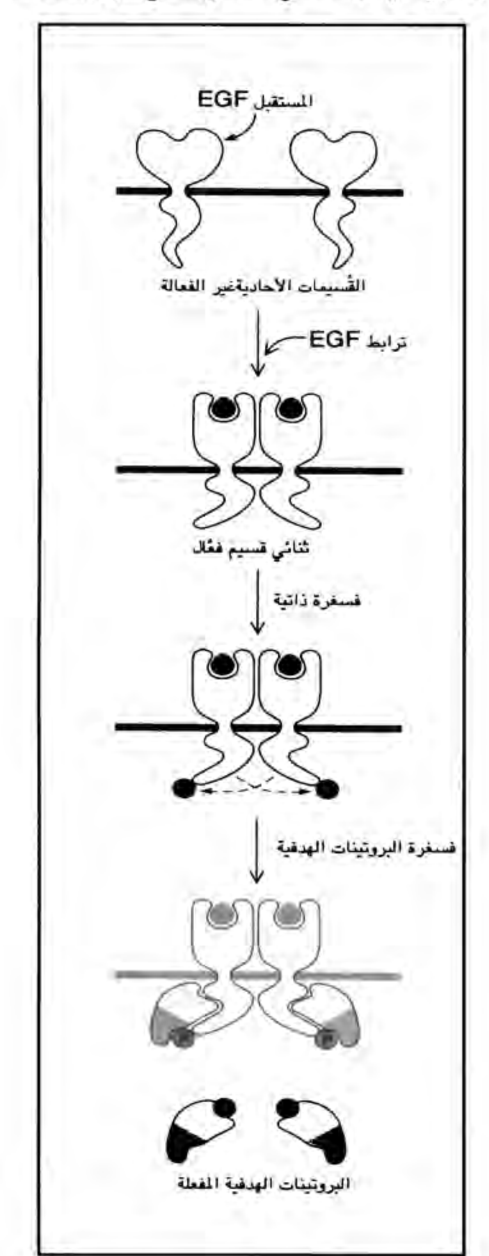


الشكل 8 .12. مخطط ترسيمي لبنية مجالات فوق عائلة المستقبلات النووية (القسم A) . لقد مُثِّل المجال شديد التغاير بالأصفر ، ومجال ترابط المستقبل بتسلسل نوعي منDNA ، AND بالأزرق ، ويكون ها المجال شديد المحافظة (أي لا تتغير بنيته أبداً أو نادراً جداً ما تتغير) . كما مثل مجال ترابط المستقبل بالهرمون بالأحمر . إن مستقبلات الستيرويدات والفيتامين D3 وحمض الريتينوئيك والتيروكسين ، تنتمي كلها إلى فوق هذه العائلة من المستقبلات منظمة الانتساخ . ترمز ER إلى مستقبل الاستروجين ، و PR إلى مستقبل البروجسترون ، و GR إلى مستقبل القشرانيات السكرية ، وVDR إلى مستقبل الفيتامينD ، و RAR إلى مستقبل حمض الريتينوئيك ، و TR إلى مستقبل التيروكسين . أما القسم B ، فيمثل التسلسلات الهدفية في DNA ، ADN التي تتعرفها هذه المستقبلات النووية . إن بنية هذه العناصر المستجيبة للهرمون تقرأ طرداً وعكساً palindrome . لقد أُشير إلى المحور مضاعف التناظر الذي يتوسط ستة أشفاع من الأسس طرداً وعكساً (اليمين واليسار) بالأخضر (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 1001) .

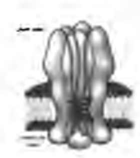
← وعندما يرتبط هرمون ما (كالإبينفرين -الأدرينالين في بعض المراجع- بمستقبله في الغشاء البلزمي (الشكل 8 .13)، أو عندما يرتبط عامل نمو الظهارة (EGF) بمستقبله (الشكل 8 .14)، فإن الهرمون أو عامل النمو يفعل البروتيناتG←



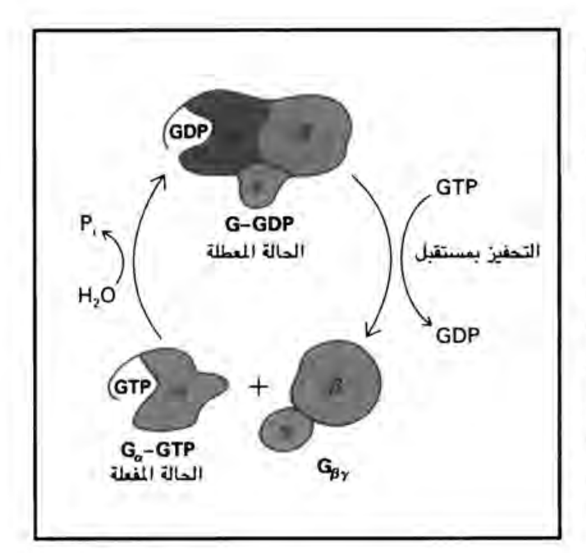
الشكل 8 .13. مخطط ترسيمي للتفعيلة motif سباعية الحلزون للمستقبل الأدرينالي الفعل بيتا . لقد مُثِّلت الحلزونات السبعة عابرة الغشاء بالأصفر . وتتوضع وحدتان من قليلات السكاريد (الأخضر) على القسم خارج الخلية . وتسهم عروة من المستقبل، تتوضع في العصارة الخلوية، في تنشيط الجزيء G3 المنبه للبروتين G . إن فسفرة عدد من ثمالات السيرين والتريونين في الذيل الكربوكسيلي الانتهائي، يمنع المستقبل من التأثر بالبروتين G (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 341) .



الشكل 8 .14. مخطط ترسيمي لترابط عامل نمو الظهارة (EGF) (الأخضر) بمستقبله . يؤدي هذا الترابط إلى تثنية قُسيمية (تشكل ثنائي القسيم) dimerization للمستقبل ، وإلى تفعيل كيناز تيروزين هذا المستقبل . إن هذه الفسفرة الذاتية تتيح للمستقبل الترابط بالبروتين الهدف وفسفرته . ويتم تعرف ثمالات التيروزين المفسفرة (الحمر) الموجودة في جزيء EGF من قبل تسلسلات محافظة (أي نادراً ما يصيبها التغير) موجودة في البروتينات المستهدفة ، وتعرف بالمجالات SH2 (الأزرق) . وتعمل كينازات التيروزين للمستقبلات الأخرى بطريقة مماثلة (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 352) .



←(G من نكليوتيد الغوانين) (الشكل 8 . 15) التي تتألف من ثلاث وُحَيدات، فتعمل هذه على تفعيل الأدينيلات سيكلاز، التي تتوسط تحول ATP إلى cAMP (ثالث فسفات الأدينوزين الحلقي)، الرسيل الثاني كما يعرف أحياناً (الشكل 8 . 16)،

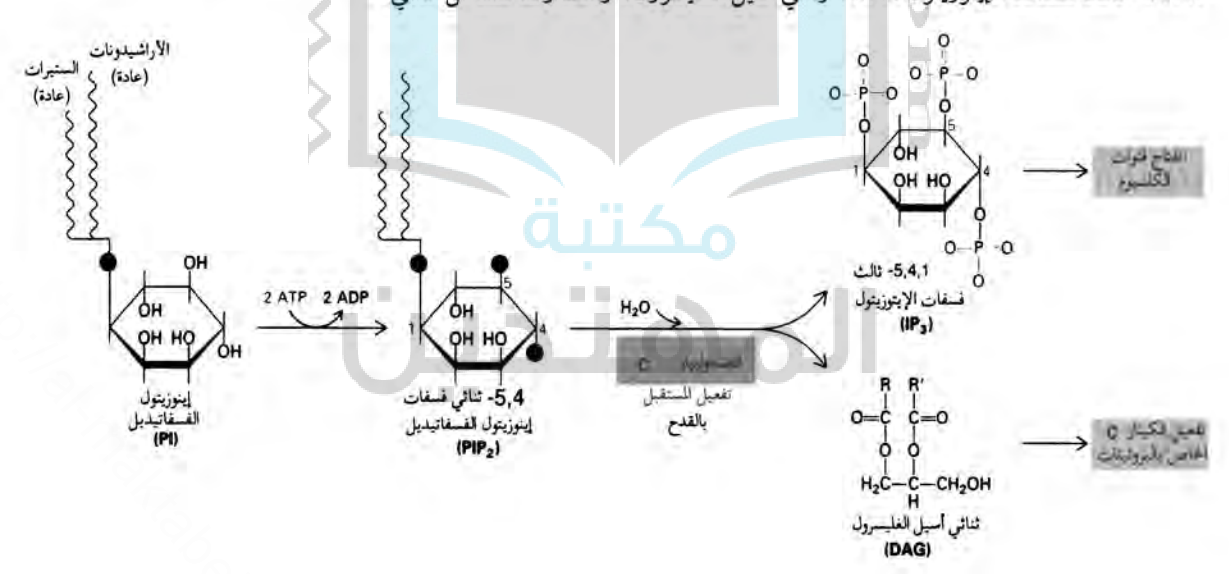


الشكل 8 . 15 . مخطط ترسيمي لآلية تفعيل البروتينات G ، وتحولها من الحالة غير المفعَّلة (حالة الترابط بالجزيء GDP) إلى الوضع المفعل (حالة الترابط بالجزيء GTP التي تُحَفَّزُ من قبل المستقبل) . إن استبدال GTP بالجزيء المترابط GDP يُحفز بمستقبل منشط (مثل معقد هرمون ـ مستقبل ـ RH ـ أو الرودبسين المثار ضوئياً ـ R*) . إن المعقد ألفا-GTP، ينشط البروتين المستفعل . وتؤدي حلمهة GTP المترابط إلى إعادة البروتين G إلى الحالة غير المفعلة . وتساق الدورة بوساطة كمون الفسفوريل لجزيءGTP (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 341)

الأدينين ATP — PP_i → الأدينين AMP الحلقي — H_2O H^+ → الأدينين 5'-AMP

الشكل 8 . 16. تمثيل التركيب والتدرك الأنزيمي لأحادي فسفات الأدينوزين الحلقي (cAMP) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 340) .

←الذي ينقل (بخطوات متلاحقة) تأثير الهرمون إلى أعماق الخلية (وهذا ما يشبه عمل الكتيبة الدلوية، التي يُنقل فيها دلو الماء عند إطفاء الحريق من شخص إلى الذي يليه في الصف). أما إذا ارتبط هرمون (كالفازوبرسين vasopressin، الذي يسبب تضيق الأوعية الدموية)، فإنه يؤدي إلى تشكل cAMP بفعل من البروتينات G، وإلى تفعيل الفسفوليباز C. ويقوم هذا الأنزيم المرتبط بالسطح الداخلي للغشاء البلزمي بحلمهة الرابطة ثنائية الإيستر الفسفاتية التي تربط وحدة الإينوزيتول المسفر بالغليسرول المؤستل، فيتشكل نتيجة تفاعل الحلمهة هذا رسيلان، هما: 1. 4. 5- ثالث فسفات الإينوزيتول (IP3)، وثاني أسيل الغليسرول، وذلك وفقاً للتفاعل التالي:



هذا، ويبسط نقص التفاعل الشكل 8 . 17 تمثيلاً ترسيمياً لتأثير الإشارة الثانية في تنشيط اللمفاويات التائية أو التائيات المساعدة (CD4)، لتشكل الإنترولوكين ـ 2 الضروري لتفعيلها، كي تعمل على تنشيط البائيات (أو اللمفاويات البائية)، لتتحول إلى خلايا بلزمية (تفرز الأضداد لتعطيل المستضد، أو الغازي)، وإلى بائيات ذاكرة، تتذكر في المستقبل (وبسرعة) هذا الغازي عندما يدخل الجسم مرة ثانية. وبالنظر إلى أنه يتعذر علينا الإشارة إلى أنماط المستقبلات كافة (بسبب تنوعها الشديد)، فلا بد أن نشير إلى ظاهرة تعرف بالإلتقام الخلوي endocytosis، endocytose، حيث تُدخل الخلية إلى داخلها بروتينات نوعية ←

الشكل 8 . 17. مخطط ترسيمي للسبل الإشارية المرتبطة باستجابة الخلية التائية وبتعطلها . إن تلقي التائية للإشارة الأولى الصادرة عن الخلية المقدمة للمستضد (البلعمية الكبيرة مثلاً)، يؤدي إلى تفعيل كيناز التيروزين الذي يسبب بدوره حدوث سلسلة من التفاعلات ، ينتج عنها ترابط عوامل الانتساخ الثلاثة بتسلسلات DNA ، ADN النوعية الخاصة بها (المُحَضِّض وربما المعَزِّز) . وهذه العوامل هي : المعقد NF-AT/AP-1 ، والمعقد NF-KB ، والبروتين OCT. ويقتضي تفعيل التائية تفيعلاً كلياً كي تنتج الإنترلوكين ـ 2 ، تلقي الإشارة الثانية من الخلية المقدمة للمستضد أيضاً . وتسبب الإشارة الثانية (بسلسلة من التفاعلات) إلى ترابط المعقدCD28RC (كعامل انتساخ) بمحضض جين الإنترلوكين . وينجم عن ذلك انتساخ رسيل الإنترلوكين وترجمته ، ومن ثم افراز هذا السيتوكين أو عامل النمو . أما إذا لم تتلق اللمفاوية التائية الإشارة الثانية ، فإنها تتعطل وتستموت [الشكل عن «شوارتز »، 1994 ، «مجلة العلوم» (الكويت) ، المجلد **10** ، العددان **10** و **11** ، اكتوبر / نوفمبر (تشرين الأول / تشرين الثاني) ، 34ـ 38 ، ص . 35].

2.2.8. عوامل النمو

كما سبق أن عرضنا غير مرة (يُرجع إلى الحاشية 7 .10 وإلى ما سبق من هذه الفقرة) فإن النمط الظاهري (بنية نسج الجسم وأعضائه وأجهزته ووظائف هذه النسج والأعضاء والأجهزة) مرمَّز في جيناتنا، أو في ما يعرف بالنمط الجيني. ويُفسّر هذا الراموز (أو الكود) الجيني إلى النمط الظاهري عبر التعبير الجيني التفاضلي بمستويين، هما: الانتساخ (حيث ينتسخ DNA، ADN إلى RNA، ARN)، والترجمة (حيث تترجم رموز RNA، ARN إلى بروتينات تشكل النمط الظاهري). ويتم التعبير الجيني التفاضلي في أثناء تكون الفرد، ويؤدي إلى تكون نسج، يتألف النسيج الواحد منها من خلايا تختلف، من حيث البنية والوظيفة والشكل، عن خلايا أي نسيج آخر، في الوقت الذي تبقى فيه الخلايا كافة، وفي النسج كلها محتوية في نواها على كامل النمط الجيني. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه السيرورات تعرف بالتمايز الخلوي، ويتم في أثنائها تراكم بروتين نوعي، يختلف بطبيعته من نسيج لآخر. وتكون وظيفة الخلية هي نفسها الخاصة الكيميائية الحيوية لهذا البروتين النوعي التمايزي (فالكريات الحمر في دمنا تنقل الأكسجين لأن الهيموغلوبين – البروتين النوعي التمايزي – الموجود في الكرية الحمراء له كيميائياً وحيوياً خاصة الترابط بالأكسجين). والخلية العضلية (الليف العضلي) تـنـجـز الحركـة بـتـقـلـصها وارتخائها لأن الأكتين والميوزين (وهما البروتينان العضليان الرئيسان)، يتراكمان في الخلية

← (كالفيتلوجينين، أحد طلائع المح في الخلية البيضية للدجاج مثلاً، الشكل 8 .18)، أوجُسيمات أخرى كالفيروسات، والبكتيريا. ويتم ذلك بوساطة ارتباط البروتين أو الجُسيم المعني بمستقبل نوعي يوجد على سـطـح الغشاء البلزمي للخلية.

ولإيضاح حركية تفاعل ربيطة – مستقبل، نرمز إلى الربيطة بالرمز L (من ligand) وللمستقبل بالرمز R (من receptor، recepteur). يمكننا أن نكتب، وفقاً لقانون فعل الكتلة، حيث تشير الأقواس قائمة الزاوية إلى التركيز مول/ لتر:

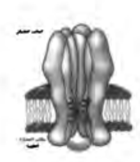
$$[L] + [R] \underset{Ka\text{-}2}{\overset{Ka\text{-}1}{\rightleftarrows}} [LR] \qquad (1)$$

فإذا اعتبرنا أن ثابتة الترابط Ka (من constant of association) هي متوسط $Ka_{-2}+Ka_{-1}$، نستطيع أن نكتب:

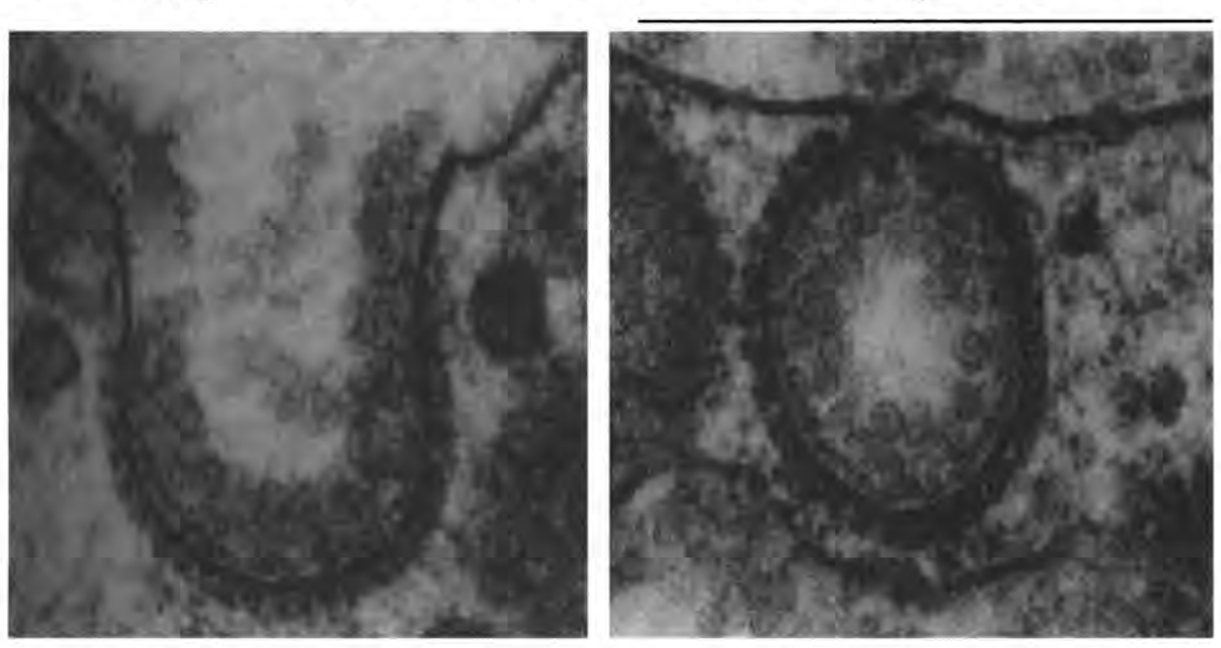
$$Ka = \frac{[LR]}{[L][R]} = \frac{1}{[R]} \times \frac{[LR]}{[L]} \qquad (2)$$

يمكننا الآن أن نثمن أهمية ثابتة الترابط Ka، إذا اعتبرنا (للتبسيط) حالة ارتباط مستقبل له كتلة جزيئية نسبية (.Mr)، تبلغ 150 000 دالتون، وللجزيء موقعا ارتباط (أي تكافؤ المستقبل هو2)، وتركيز الربيطة منخفض بالنسبة للمستقبل. فإذا كان Ka يساوي 1×10^{5} مول/ لتر، وإذا كان تركـيز المستقبل يساوي (للتبـسيط أيضاً) 0.75 ميلي غرام/ ميلي لتر، فإن تركيز مقرات ربط المســتقبل، سيـساوي عندئذ 1×10^{-5} مول/ لتر (أي $\frac{2\times0.75}{150\ 000}$).

في حالة من هذا النمط (أي عندما يكون تركيز مقرات الربط للمستقبل يساوي مقلوب ثابتة الترابط)، فإن نصف عدد جزيئات الربيطة سيكون مترابطاً، ونصفها الآخر سيكون حراً. أي أن التناسب $\frac{[LR]}{[L]}$ في المعادلة (2)، سيكون مساوياً 1. أما إذا كان تركيز مقرات الربط للمستقبل، يساوي 1×10^{-7} مول/ ليتر فقط، وكانت قيمة Ka هي نفسها كما في الحالة السابقة (أي 1×10^{5})، فإن التناسب السابق سيكون مساوياً $\frac{1}{100}$، أي أن 1 % من الربيطة فقط سيكون مرتبطاً، و 99 % منها سيكون حراً. إما إذا كانت قيمة ثابتة الترابط تساوي1×10^{9}، وتركيز مقرات الربط للمسـتقبل كما هو في المثال الأخير (أي 1×10^{-7})، فإن نسبة الربيطة المرتبطة بالمسـتقبل [LR] إلى ماهو حر منها (أي $\frac{[LR]}{[L]}$)، ستساوي عندئذ 99 %. **إن Ka إذاً يعبر ليس فقط عن الفة (قوة) ترابط الذرات والجزيئات بعضها ببعض، بل أيضاً عن مبلغ ماهو مترابط منها. وبدهي أن تكون Ka وليدة فعل القوى التكافؤية واللاتكافؤية، التي قادت التطور الموجه ذا المعنى. فالذرات والجزيئات الأشد ألفة في ترابطها، والأعلى في نسبة هذا الترابط، تسود على الذرات والجزيئات الأضعف ألفة، والأقل نسبة في ترابطها. فقوى الطبيعة (إرادة الله)، وجهت التطور، وكان Ka تعبيراً عن هذا التوجيه.**



العضلية، ويتصفان من الناحية الكيميائية الحيوية بخاصتي التقلص والارتخاء. وإذا كانت الخلية العصبية (العصبون) تنقل التنبيه، فلأن البروتينات النوعية العصبية تتصف بهذه الخاصة . . . وهكذا. أما في ما يتعلق بشكل الخلية، فإنه مصمم، بحيث يكون المردود الوظيفي للخلية في أعلى مستوى ممكن. ولهذا تأخذ الكرية الحمراء شكل كرة قرصية صغيرة القطر، تمتز على سطحها كمية مناسبة من الأكسجين (لأنه كلما صغر الحجم - والكرة أصغر الحجوم في الأشكال الهندسية في ما يتعلق بحجم معين -، أمكن استيعاب عدد أكبر من الكرات في حيز مكاني معين، ومن ثم تزداد مساحات السطوح زيادة كبيرة جداً). فالمكعب الخشبي الذي يبلغ طول ضلعه 10 سنتي مترات مثلاً، يقل سطحه كثيراً (أقل بأكثر من ألف مليار مرة) عن المربعات التي يبلغ طول ضلع كل واحد منها 1 سنتي متراً، والتي يمكن اشتقاقها من المربع الكبير بتقطيعه إلى مربعات صغيرة. فمجموع سطوح المربعات الصغيرة يفوق قرابة 10^{15} مرة مساحة سطوح المربع الكبير. ولهذا السبب بالذات، يزداد عدد كرياتنا الحمر في المرتفعات الشاهقة (خلال أيام قليلة) بمقدار مثلين (كي تعوض عن الانخفاض في تركيز الأكسجين الجوي)، في حين أن حجم الكرية الواحدة يظل ثابتاً. والليف العضلي (الخلية العضلية) يأخذ شكلاً مغزلياً، أو أسطوانياً بحيث يكون المحور الطولي أكبر بعدد من المرات من قطر المقطع العرضي، فيحدث التقلص على حساب تقاصر الطول، ويصبح بإمكان العضلة أن تنجز حركة ما (حركة الأطراف، وأجزاء الجسم، وضربات القلب، والشهيق والزفير، وتضيق الأوعية وأقنية الغدد ...). كما أن للخلية العصبية (وبخاصة العصبون) شكلاً خاصاً، تكيف مع نقل التنبيه العصبي، فلها جسم نجمي الشكل تقريباً، تصدر منه تغصنات، يكون أحدها ضخماً وطويلاً (يبلغ طوله أحياناً متراً واحداً ونصف المتر، حيث يمتد من قاعدة الدماغ إلى نهاية الطرف

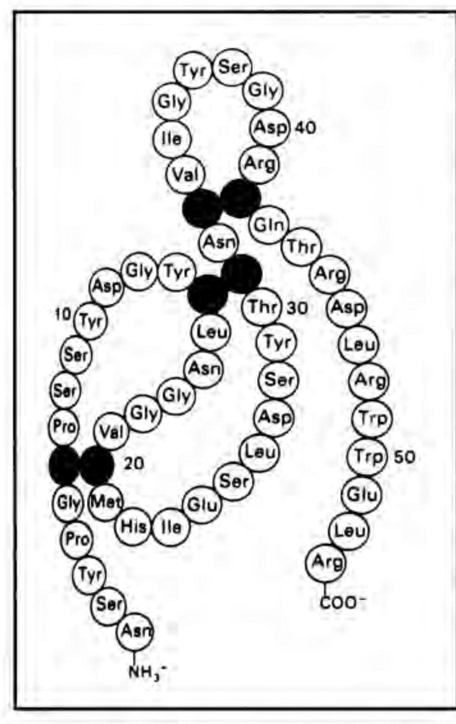


الشكل 8 . 18. صورة بالمجهر الإلكتروني لجزء من الغشاء البلزمي للخلية البيضية للدجاج، تُوضح قبط (أخذ) الفيتلوجينين vitellogenin ، vitellogenine (مادتا الفسفيتين والليبوفيتيلين المرتبطتان بـ DNA ، ADN الناتج عن تخرب الكريـات الحمـر للطـائر) . يتـم قبط الفيتلوجينين (طليعة المح) في وحدات خاصة في الغشاء البلزمي للخلية البيضية، حيث يترابط الفيتلوجينين بمستقبلاته على سطوح هذه الوحدات (اليسار)، ثم يلتحم طرفا الوحدة الواحدة لتشكل حويصلاً يملاؤه الفيتلوجينين (اليمين) . ويتم هذا الالتقام الخلوي بتحفير من تشكل المعقد فيتلوجينين - مستقبل (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 935) . لقد ترجم هذا الكتاب إلى الفرنسية.



السفلي)، وينتهي بتغصنات، تعمل كصلة وصل بينه وبين الخلية العصبية التالية. وبناء على هذا الشكل الخاص بالخلية العصبية، يتم نقل التنبيه العصبي إلى المناطق المختلفة للجسم. وتصدق هذه المحاكمة في ما يتعلق بالنسج كلها: فوظيفة الخلية هي الخاصة الكيميائية الحيوية للبروتين النوعي التمايزي الذي تراكم فيها في أثناء تكون الجنين، وعبر التعبير الجيني التفاضلي، حيث يُفسّر النمط الجيني تفاضلياً، ونوعياً، إلى النمط الظاهري الخاص بالنمط الخلوي. وكما سبق أن عرضنا، فإن عوامل كثيرة (وعلى رأسها الهستونات، وتفاعل التمتيل، وعوامل الانتساخ وحتى جزيئات عضوية صغيرة وإيونات بسيطة، مثل HCO_3^- - يُرجع إلى الفقرة 7 . 10) مسؤولة عن هذا التعبير الجيني التفاضلي. فبالإضافة إلى الهستونات، وتفاعل التمتيل، وعوامل الانتساخ وتفاعل الأستلة، تؤدي المستقبلات، وعوامل النمو، وبروتينات الصدمة الحرارية دوراً أساسياً في حدوث هذا التعبير الجيني التفاضلي.

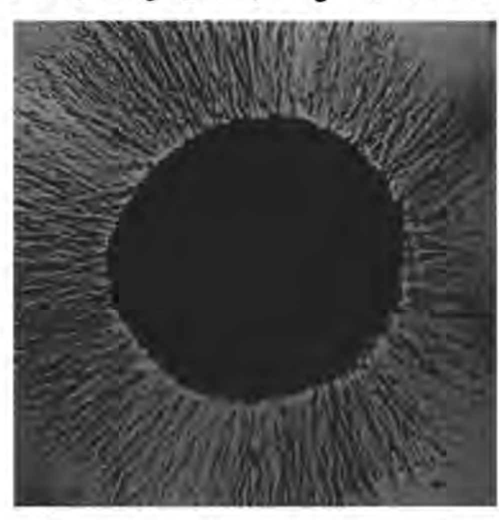
فعوامل النمو (وكلها تعمل كعوامل انتساخ)، ليست أساسية من أجل التعبير الجيني التفاضلي فحسب، بل إنها تؤثر في زيادة مستوى هذا التعبير. وعوامل النمو هي بروتينات ذات كتل جزيئية نسبية صغيرة نسبياً (قرابة 000 12 دالتون، والدالتون• هو وحدة الكتلة الجزيئية - ويعادل تبسيطاً ثقل ذرة الهدرجين، أو1/16من ذرة الأكسجين، ويستعمل عوضاً عن الوزن الجزيئي إذا كان الأمر يتعلق بجزيئات ضخمة كالجزيئات البيولوجية، والكتلة الجزيئية النسبية قريبة من حيث القيمة من الوزن الجزيئي). ويعمل عامل النمو عادة على شكل ثنائي قُسيم (أي أن الوحدة الوظيفية لعامل النمو تتألف من جزيئين اثنين). ولكل عامل نمو جينه الخاص به الذي يَرمِّزه. ولقد تم تعرف جينات عدد من عوامل النمو، وتم نسيلها (استنساخها) خارج جسم الإنسان. ولقد سبق أن أشرنا في الفقرة السابقة إلى عدد من مستقبلات عوامل النمو، التي تنقل تأثير عامل النمو إلى داخل الخلية، ليؤدي دوره في تمايز الخلية، ونموها وقيامها بوظيفتها. ونذكر من عوامل النمو (التي تمت دراستها) عامل نمو الظهارة EGF (من epidermal growth factor، facteure de croisance épidermique (الشكل 8 . 19 يرجع إلى الشكل 8 . 14)،

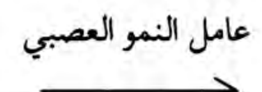


الشكل 8 . 19. مخطط ترسيمي لتسلسل ثمالات الحموض الأمينية الثلاثة والخمسين في جزيء عامل نمو الظهارة EGF. تتصف عوامل النمو عامة بصفتين رئيستين: الكتلة الجزيئية النسبية (Mr) الصغيرة نسبياً (أقل من 12 كيلو دالتون)، وعمله كثنائي قُسَيم. إن عدداً من عوامل النمو تعمل كعوامل انتساخ لجين معين يُرمِّز بروتيناً محدداً (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 351).

• الدالتون، من «جان دالتون» John Dalton (1766-1844)، الفيزيائي الكيميائي البريطاني. والدالتون هو وحدة الكتلة الذرية، ويساوي 1/16 من كتلة ذرة الأكسجين، أو 1/12 من كتلة ذرة الكربون، أي 6598. 1×10^{-24} غرام. أمَّا الكتلة الجزيئية النسبية relative molecular mass (Mr) masse moléculaire relative فهي الكمية المميزة لمادة ما. ويتم الحصول عليها بتقسيم كتلة الجزيء على وحدة الكتلة الذرية (أو الدالتون). وبالنظر لأنها عدد بدون أبعاد، فإن الكتلة الجزيئية النسبية (Mr)، تعادل القسم العددي للكتلة المؤلفة للمادة، مشاراً إليها بـ غرام/ مول، كما أنها تساوي الكتلة الجزيئية مشاراً إليها بالدالتون.

وعامل النمو العصبي (NGF) (الشكل 8 . 20)، وعامل نمو الأرومة الليفية (FGF)، وعامل النمو الاستحالي (TGF)، وعامل النمو المشتق من الصُفَيِّحات (DGF-P)، وغيرها .







الشـــكل 8 . 20. صورة مجهرية لعقـــدة عصبية (اليســـار) تُري تكثير الألياف العصبية في إثـــر إضافة عامل النمو العصبي NGF إلى الزرع (اليمين) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 18) .

ولكل عامل من عوامل النمو عدد من الأنماط ، قد يكون لها تأثيرات متباينة . وغني عن التأكيد أن عوامل النمو (باعتبارها عوامل انتساخ) تؤثر في معدل انتساخ الحموض النووية الريبية الرسل ، فتزيد من مستواها ، ومن ترجمتها إلى بروتينات معينة . وإذا تجاوز الفعل المنبه للانتساخ الذي يمارسه عامل النمو حداً معيناً ، فقد يؤدي ذلك إلى الاسهام في نشوء الخباثة أو التسرطن (انظر الفقرة 8 . 4 والحاشيتين 8 . 12 و 8 . 13) .

وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن تكون الجانب البطني للجنين يتطلب تأثير عامل نمو الأرومة الليفية ، في حين أن تكون الجانب الظهري (أي الجملة العصبية والعمود الفقري) يتطلب فعل مزيج من عامل النمو هذا ومن عامل النمو الاستحالي TGF (الأكتيفين activine) المسؤول أكثر من أي عامل نمو آخر عن تنفيذ مخطط تكون الجنين . كما أن عامل النمو الاستحالي بيتا من النمط III ، ومستقبل هذا العامل ضروريان لتكون الجانب الظهري للجنين ، ولتشكل الوسادة البطينية الأبهرية في أثناء تشكل قلب الجنين [73] . وهنالك فيض من الأدلة يشير إلى أن تمايز أي نسيج ، وتشكل أي عضو ، يحتاج إلى تأثير عامل نمو واحد أو أكثر . وإن عامل النمو يُحدث أحياناً تأثيره (ذو العلاقة بتمايز الخلية ونموها) من خلال ترابطه بمستقبله المغروز عامودياً (بسبب خفض الطاقة الحرة للجزيء نتيجة فعل المبدأ الثاني للترموديناميك) في الغشاء الخلوي ، وصدور إشارة عن المعقد المتشكل (عامل النمو والمستقبل) تؤثر في الطبقة القشرية من الخلية حيث ينتقل هذا التأثير إلى أعماق الخلية بظاهرة الكتيبة الدلوية .

8 . 2 . 3. بروتينات الصدمة الحرارية

كما عرضنا غير مرة ، فإن عالم اليوم يعرف بعالم DNA ، ADN والبروتينات . فالنمط الجيني للفرد موروث في DNA ، ADN ، وليس النمط الظاهري (بنية الجسم ووظائفه) سوى التعبير الملموس للنمط الجيني . ويتألف النمط الظاهري من البروتينات ، التي تقسم بدورها إلى البروتينات الأساسية (الضرورية لبنية الخلية ولبقائها على قيد الحياة) ،

73. Brown, C.B. et al., Nature **283**, 2080- 2082 (1999).

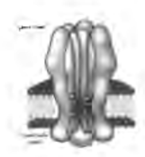


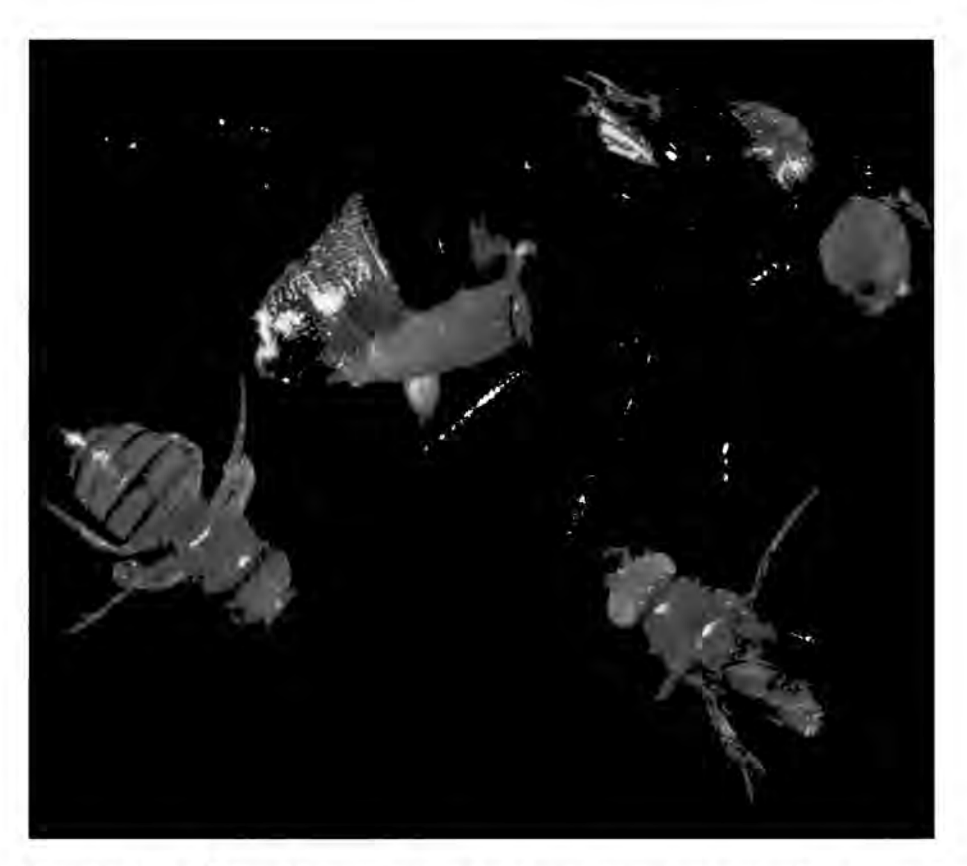
والبروتينات الكمالية، أو بروتينات التمايز الضرورية لقيام الخلية بوظيفتها في حياة الفرد (البروتين العصبي في النسيج العصبي ـ الدماغ والنخاع الشوكي والألياف والعقد العصبية ـ، والبروتين العضلي في النسيج العضلي ـ العضلات المخططة، كعضلة العضد أو الفخذ مثلاً، والعضلات الملساء التي تقلص الأوعية الدموية مثلاً، وعضلة القلب ـ، والهيموغلوبين في الكريات الحمر ...) . ويتم التعبير الجيني التفاضلي (كما سبق أن عرضنا) غير مرة بفضل الهستونات، وتفاعل التمتيل، وعوامل الانتساخ وتفاعل الأستلة (يُرجع إلى الحاشية 7 . 10)، وبمساعدة صفوف مختلفة من البروتينات والجزيئات العضوية الصغيرة، وحتى الإيونات . ولا تساعد هذه البروتينات على تمايز الأنماط الخلوية المختلفة (التعبير الجيني التفاضلي) فحسب، إنما تؤدي دوراً مهماً في إنجاز الخلية لوظيفتها، وفي نموها، وانقسامها . وكما كنا ذكرنا، فإن المستقبلات [بروتينات سكرية ينغرز معظمها في غشاء الخلية، وبعضها موجود في العصارة الخلوية cytosol ضمن السيتوبلازما (المستقبلات الستيرويدية)، وقلة منها توجد داخل النواة، كمستقبلات الريتينويدات]، وكذلك عوامل النمو (بروتينات ذات كتل جزيئية نسبية صغيرة نسبياً)، وبروتينات الصدمة الحرارية، إن هذه الصفوف الثلاثة من البروتينات، تأتي في مقدمة البروتينات التي تساعد الهستونات، وتفاعل التمتيل، وتفاعل الأستلة وعوامل الانتساخ على تحقيق التعبير عن النمط الجيني، وتحوله إلى النمط الظاهري . كما أنها أساسية لوظيفة الخلية ولنموها وتكاثرها .

ولقد أُعطيت بروتينات الصدمة الحرارية protéines de choc thermique, (hsp)heat shock proteins، هذا الاسم لأنها اكتشفت أول مرة (عام 1973) لدى تعريض ذبابات الفاكهة (الشكل 8 . 12–أ و ب)، لصدمة حرارية، سواءً كان ذلك ارتفاعاً لدرجة الحرارة أو انخفاضاً لها . وظهرت هذه البروتينات عندئذ كنفيش puff في نقاط معينة من



الشكل 8 . 21 ـ أ . صورة مكبرة لرأس ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster* [عن Groβ ,M., La Recherche M., **321**.42- 45(1999)] .





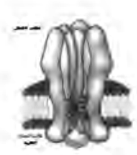
الشكل 8 . 21 ـ ب . صورة لثلاث ذبابات فاكهة طافرة، إحداها سوداء الجسم (الأعلى) والثانية بدون أجنحة (اليسار)، والثالثة ذات عينين لونهما أبيض (اليمين) [عن (1999)45-321.42 Groβ ,M., La Recherche]

الصبغيات العماليق للغدة اللعابية لهذه الذبابة. وتبين أن رفع درجة الحرارة، أو خفضها، يفعل بسرعة مجموعة من الجينات، التي تُنتسخ على شكل رسل، تترجم آنياً إلى هذه البروتينات. واتضح فيما بعد أن هذه البروتينات، تتشكل بسرعة أيضاً، كآلية دفاعية عن الخلايا كلها، ليس ضد التغير المفاجئ لدرجة الحرارة فحسب، بل أيضاً لحماية الخلية من فعل الجذور الحرة المخربة (يُرجع إلى الحاشية 3.5)، ومن عوز الأكسجين، وحتى من تأثير بعض أنواع التنكس (التحلل) الخلوي المزمن. لذلك فإن البعض ينزع حالياً إلى تسميتها ببروتينات الكْرب stress proteins، protéines de stress.

كما تبين أيضاً أن هنالك فصيلة كاملة من هذه البروتينات، توجد كلها في الخلايا كافةً، وتتراوح كتلها الجزيئية النسبية ما بين 000 15 و 000 90 دالتون، وأن معظمها (ما هو دون 70 كيلودالتون)، يتشكل آنياً في إثر التعرض للكْرب، ويتلاشى منحلاً في العصارة الخلوية بمجرد زوال الفعل المُكْرب، في حين أن البروتينات 83 و 94 كيلودالتون توجد باستمرار في العصارة الخلوية كجزء من البروتينات الوظيفية الأساسية. ولقد بينت البحوث المختلفة [75,74,67] أن بروتينات الصدمة الحرارية لا تدافع عن الخلية ضد عوامل الكْرب فحسب، بل تؤدي دوراً مهماً في نقل المعلومات الضرورية من السيتوبلازما إلى النواة، كي يحدث الانقسام الخلوي، والتنامي الجنيني على نحو صحيح. وغالباً ما يطلق على هذه البروتينات اسم الوصيفات chaperones، ذلك أنها ترافق الجزيء البروتيني منذ بدء تشكله (كي تحول دون

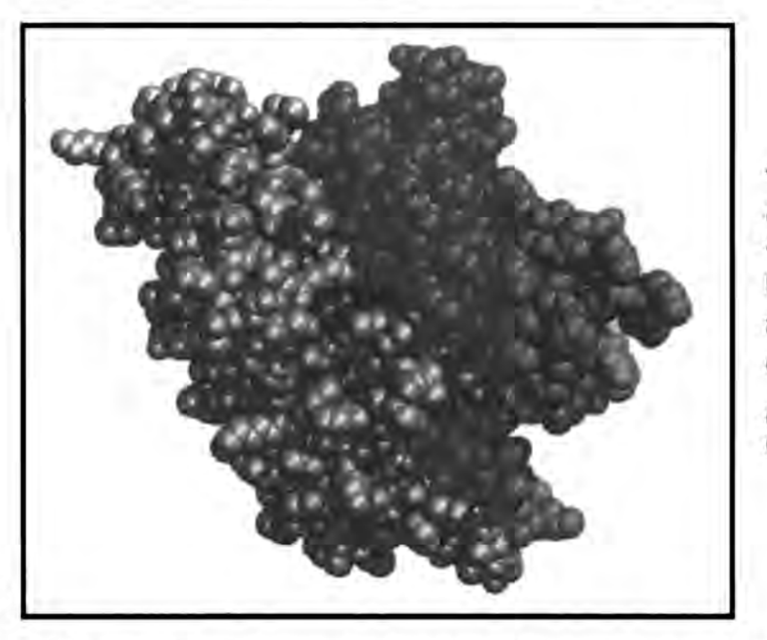
74. Cossins, A., Nature **396**, 309 – 310 (1998).

75. Rutherford, S. L. and Lindquist, S. , Nature **396**, 336 – 342 (1998).



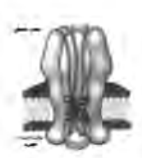
انثنائه في الأبعاد الثلاثة انثناءً خاطئاً، **فتعمل كجزء أساسي من نظام ضبط الجودة على المستوى الجزيئي**)، وتغادره عند انتهاء تشكله، كي ينثني ويأخذ شكله الفراغي ثلاثي الأبعاد الصحيح. كما أن بروتينات الصدمة الحرارية تترابط بسطوح الجزيئات البروتينية الآخذة بالتشكل نتيجة تمسخ البروتين بفعل الحرارة، فتمنع السطوح الجديدة اللزجة لهذه البروتينات من التلاصق فيما بينها، مسببة تكدس هذه البروتينات، ومن ثم موت الخلية. فعندما تتعرض الخلية للكْرب، تبدأ الجزيئات البروتينية بالتمسخ، أي يبدأ شكلها الفراغي ثلاثي الأبعاد بالتغير، فتظهر على سطح الجزيء أجزاءٌ كانت منثنية في داخله، ومطوية في أثنائه. وبالنظر إلى كون هذه السطوح الجديدة لزجة، فإن هذه الجزيئات تشرع بالتلاصق، الأمر الذي يؤدي إلى تكدس البروتينات داخل الخلية، والتسبب بموتها. إن التعرض للكْرب، يسبب آنياً تركيب بروتينات الصدمة الحرارية التي تترابط بالسطوح اللزجة، وتمنع التكدس، فتنقذ الخلية من الموت. وما إن يزول الكْرب حتى تنفصل بروتينات الصدمة الحرارية، وتنحل متدركة بالسرعة التي تشكلت بها، وتستعيد بروتينات الخلية شكلها الفراغي ثلاثي الأبعاد الوظيفي. أما بروتينات الصدمة الحرارية 90 (من 90 كيلو دالتون)، فتؤدي دوراً أكثر تعقيداً (5.8).

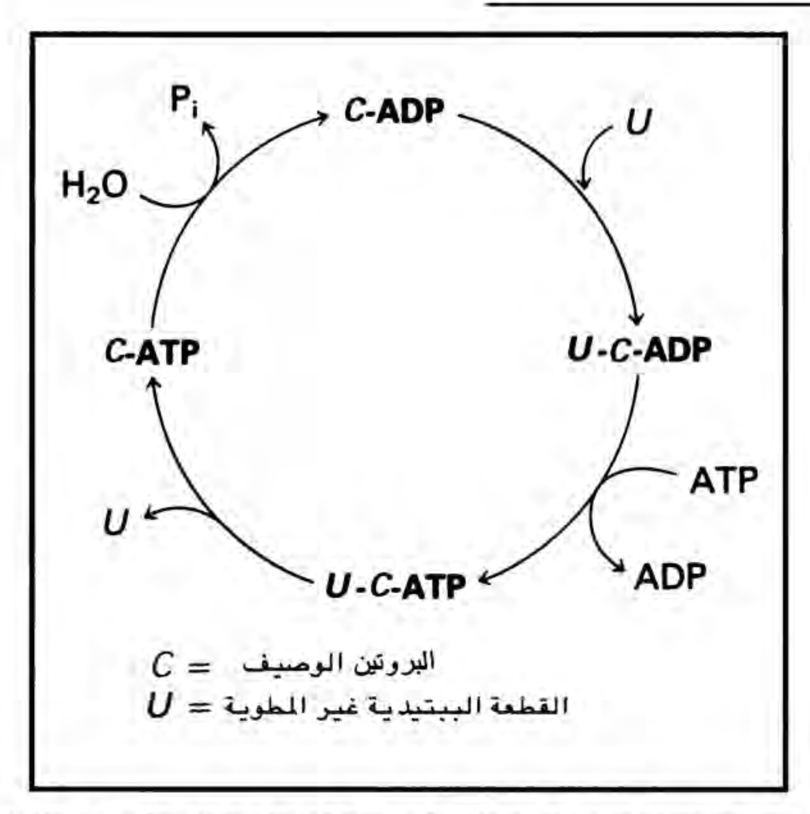
(5.8) إن بروتينات الصدمة الحرارية كلها تقي الخلية من عوامل الكْرب (ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها، والجذور الحرة المتلفة للخلية، وعوز الأكسجين، وتنكس -تحلل- بعض النسج). إن معظم هذه البروتينات (دون 70 كيلو دالتون)، يتشكل آنياً عند بدء تأثير الكْرب، ويحول دون تكدس البروتينات الخلوية، فتنقذ الخلية من الموت. وما إن يزول التأثير المُكرب حتى تنفصل بروتينات الصدمة الحرارية عن البروتين الخلوي لتتقوض بسرعة. ولقد اتضح أن بروتين الجزيء 70، يحوي جزءاً يعرف بمجال فسفتاز ثالث فسفات الأدينوزين (ATPase، الشكل 8.22)، ويتمتع بفاعلية بطيئة كأنزيم لنزع الفسفات من ATP وتحويلها إلى ADP (تماماً كما هي الحال ←



الشكل 8.22. طراز مليء الأحياز للبنية ثلاثية الأبعاد الوظيفية لشدفة فسفتاز ثالث فسفات الأدينوزين ATPase مشتقة من بروتين الصدمة الحرارية ذي الكتلة الجزيئية النسبية (Mr) 70 كيلو دالتون . يوجد هذا البروتين في العُصارة الخلوية للخلايا حقيقية النواة كلها . إن ثاني فسفات الأدينوزين ADP (الأحمر) يترابط في الفلح الخاص به ، الذي يقع بين مجالي البروتين (الأصفر والأزرق) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 919) .

← في جزيء بروتين الأكتين العضلي). إن المعقد المتشكل (البروتين- 70-ADP) يترابط بألفة عالية بالسطوح البروتينية الجديدة المتشكلة بفعل الكْرب، ولا يرتبط بالبروتين الواطن أو السوي[30] (أي الموجود داخل الخلية). ويؤدي ارتباط المعقد بالسطوح اللزجة إلى تحرر ADP، و دخول ATP في الفلح (أو الشق) الذي كان يتوضع فيه جزيء ADP (الشكل 8.23). أما في ما يتعلق بدور البروتينات الوصيفة في مرافقة الجزيء البروتيني منذ بدء تشكله حتى انتهاء هذا التشكل، ومن ثم الحيلولة دون تثني الجزيء (قبل انتهاء تشكله) انثناءات غير سوية، فإن ذلك يعود إلى أن تركيب جزيء البروتين يحتاج حتى ينتهي إلى ثوانٍ بل أحياناً إلى دقائق. فإذا لم ترتبط البروتينات الوصيفة بالنهاية الأمينية للجزيء البروتيني ←





الشكل 8 . 23. مخطط ترسيمي لدورة ترابط كل من ثاني فسفات الأدينوزين ADP وثالث فسفات الأدينوزين ATP بالبروتين الوصيف. يرمز الحرف C إلى البروتين الوصيف، و U إلى قطعة الببتيد اللامنثنية (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 919) .

← الذي شرع بالتشكل، وتمنعه من الانثناء، فإن هذا التثني يحدث، ويصبح الجزيء غير سوي من حيث بنيته الفراغية، ومن ثم يصبح غير نظامي الوظيفة. أما السبب الثاني لضرورة هذا الترابط، فيرجع إلى أن تجارب دراسة تثني البروتينات خارج الخلية، يتم بتركيز مثالي قدره 1 ميلي غرام / ميلي لتر. أما في لمعة الشبكة البلزمية الداخلية (حيث تتزاحم الجزيئات البروتينية الوليدة)، فإن التركيز، يصل إلى مئتي مثل (200 ميلي غرام / ميلي لتر)، الأمر الذي يهيئ فرصاً عديدة لهذه البروتينات كي تتأثر تأثراً شوشياً ذا نتائج مميتة. وتتمثل الوظيفة المهمة الأخرى للبروتين 90 (عندما لا تكون الخلية بحالة كَرب) بالعمل على حدوث تنام جنيني سـوي، وانقسـام خلـوي نظامي، وعلى تهيئة مسـتقبلات عدد من الهرمونـات (وبخـاصة السـتيرويـدات) كي تـترابط بها هـذه الهرمونـات، ويذهب المعقد مسـتقبل - هرمون إلى جين معين، ويبدي تأثيره. ويرى البعض أن البروتين 90 أدى دوراً مهماً جداً في الزمن الكمبري حيث أسهم إسهاماً فعالاً في ما عرف بالانفجار الأعظم للتنوع الحيواني [67، 74، 75] الحيواني. ففي الزمن الكمبري، وقبل 550 مليون عام تقريباً، ظهرت المخططات الأساسية لتصاميم أجسام الأنواع الحيوانية كما نعرفها اليوم (أي تم نشوء جينات مثلية جديدة، أو حدث تراتب جديد لهذه الجينات، كما تم تفعيل هذه الجينات، يرجع إلى الحاشية 8 . 3).
وتقترح الباحثتان صاحبتا هذه الفكرة [75] أن البروتين 90 (وبسبب من وظيفته في المحافظة على حدوث تنام جنيني سوي)، يقنّع (خارج ظروف الكَرب) الطفرات في المراحل الجنينية الأولى، فلا يظهر تأثيرها. أما في الزمن الكمبري، فكان البروتين 90 على ما يبدو، مشغولاً (بسبب ظروف مناخية قاسية، من جفاف، وارتفاع في درجة الحرارة) بحماية البروتينات من التكدس (أي يقوم بوظيفته الأولى بسبب ظروف كَربية معينة)، ومن ثم لم يكن بإمكانه تقنيع الطفرات أو تثبيطها، فظهرت أنواع جديدة طافرة لم تكن موجودة حتى ذلك الزمن، واستطاع قسم منها أن يستمر ليعطي المخططات الأساسية لتصاميم أنواع حيوانات اليوم. وهذا ما يفسر ثبات المراحل الجنينية الأولى وفقاً لمنطوق القانون الذي وضعه مؤسس علم الجنين المعاصر « كارل إرنست فون بير » Karl Ernest von Baer (1792–1876)، والمعروف بقانون بير، أوالقانون الوراثي الحيوي Biogenetic Law ، Loi Biogénétique (يُرجع إلى كتاب « **مقدمة في علم الجنين** » للمؤلف، منشورات جامعة دمشق، 1980 للوقوف على تفصيل موسع لهذا القانون). إن أمر وجود الطفرات في الأعراس موروثة من الأبوين، وكذلك موضوع تقنيعها (تثبيطها) من قبل البروتين 90 هو نموذج paradigme (أو مفهوم) جديد مهم جداً، إنما يحتاج إلى براهين أكثر عمقاً وإلى أدلة أشد إقناعاً. **يمكن الاستنتاج مماسبق أن بروتينات الصدمة الحرارية، تشكل جزءاً أساسياً من نظام ضبط الجودة في الخلية والجنين (انظر الحاشية 9 . 5).**



3.8. التنظيم العصبي الهرموني والاستجابة المناعية

تعمل الجملة العصبية على تنظيم العلاقة بين الفرد ووسطه. وتتألف من مراكز وألياف عصبية تتولى عملية التنظيم. ويتلقى الجسم التأثيرات الخارجية (الضوء والألوان والأصوات والروائح والمنبهات الأخرى ...)، ويستجيب لها بالإبصار والسمع والشم والحركة والتفكير والانفعال .... ويحدث التنبيه العصبي بفعل عوامل ومواد (الضوء والصوت والحرارة والأستيل كولين وطيف واسع من الهرمونات ...) في مستقبلات بروتينية مغروزة في الأغشية الخلوية. أما الهرمونات، فتعمل على تنسيق وظائف الجسم من الداخل، وهي ذات علاقة وثيقة بالجملة العصبية، وبالجهاز المناعي، وبالمناسل. والهرمون هو مادة بروتينية (ببتيدية) أو ستيرويدية، تفرزها غدد خاصة، وتلقيها في الدم مباشرة، فتجول فيه، وتؤثر في خلايا هدفية قد تكون بعيدة جداً عن الغدة المفرزة للهرمون. وبالنظر إلى أن الغدة لا تمتلك قناة توصلها في نهاية الأمر بالوسط الخارجي، ومن ثم فهي تلقي بإفرازها في الوسط الداخلي مباشرة (الدم، أواللمف، أوالسائل بين الخلايا)، فلقد أُطلق على هذا النمط من الغدد اسم الغدد ذات الإفراز الداخلي endocrine (بعكس الغدد ذات الإفراز الخارجي exocrine، كالغدد اللعابية مثلاً)، أو الغدد الصم (بعكس الغدد المفتوحة بقناة). وتوجد في الجسم غدد مختلطة: قسم منها يعمل كغدة ذات إفراز خارجي، وقسم أخر يعمل كغدة ذات إفراز داخلي، وهذا هو شأن المنسل (المبيض أو الخصية) والكبد والبنكرياس والكلية. فإذا كانت الجملة العصبية تنظم العلاقة بين الفرد وبيئته، فإن الجملة الهرمونية تنظم العلاقة بين أعضاء الجسم ووظائفه. فالعلاقة بين الجملتين حتمية وأساسية، وهنالك ما ينظم هذه العلاقة نفسها بين الجملتين. فالجملتان العصبية والهرمونية تنسقان الأعمال فيما بينهما، بحيث تستمر بُقيا (البقاء على قيد الحياة) الفرد، واستمراره في الزمن (الحفاظ على النوع). أما في ما يتعلق بالاستجابة المناعية، فإنها تسهر على القضاء على كل عامل غريب يمكن أن يدخل الجسم (بدءاً بالفيروسات، إلى الكُلية المغترسة، أو القلب المغترس، مروراً بالبكتيريا والفطور والطفيليات). فالاستجابة المناعية تصون الجسم مما لا تستطيعه الجملتان العصبية والهرمونية. وتشكل الجمل الثلاث كلاً متناسقاً كان لا بد من وجوده في هذا التطور الموجه ذي المعنى الذي سيفضي إلى نشوء حياة ذكية يكون فيها الإنسان خليفة الله في الأرض. هذا، وسنعمد إلى عرض أساسيات التنبيه العصبي، والفعل الهرموني، والاستجابة المناعية، ثم نلخص علاقات التنسيق بين هذه الجمل الثلاث.

1.3.8. التنبيه العصبي

وفقاً للمبدأ الذي حكم التطور الموجه ذا المعنى الذي توجه ظهور الإنسان، وألمحنا له غير مرة، وسار بالضرورة من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية، فإن الجملة العصبية بدأت في الأساس على شكل خلايا مبعثرة، تنظم العلاقة بين الكائن وبيئته (كما هي الحال في قنديل البحر مثلاً). ولكي تحسّن من أدائها، شكلت الخلايا (في الجانب البطني للحيوان اللافقاري لقرب هذا الجانب من الأرض) حبلاً عصبياً، تضخم في النهاية الأمامية للحيوان ليشكل عقدة، هي طليعة الدماغ (كما هي الحال في الحيوانات التي لا تمتلك عموداً فقرياً، كالديدان والحشرات، حيث أصبحت العقدة العصبية الرأسية في الحشرات أكثر تعقيداً بسبب الحاجة إلى تنسيق الحركات الخاصة بالطيران). ولدى ظهور طلائع الفقاريات في الزمن الكمبري (يُرجع إلى الحاشيتين 3.8 و 5.8)، انتظمت الكتلة العصبية الرأسية في دماغ، يتألف من أقسام، تحوي مناطق، وباحات عصبية متخصصة، تنظم حركات الأطراف الأربعة، سواء في السباحة أو في التنقل على اليابسة. وكان



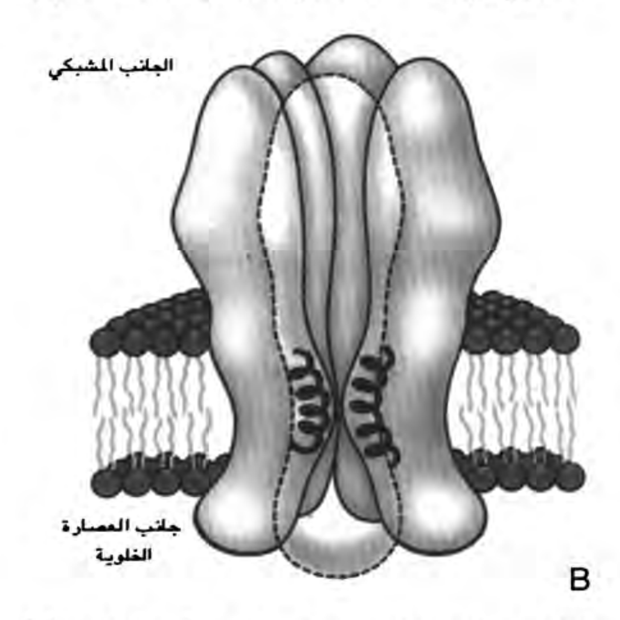
لا بد للجملة العصبية من أن تنظّم وظائف الجسم الأخرى (الهضم والدوران والتنفس والإطراح ...)، فتتشارك هذا التنظيم مع الجملة الهرمونية التي تستطيع الوصول إلى خلايا هدفية لا يمكن للألياف العصبية (بسبب تكوين الجسم) الوصول إليها.

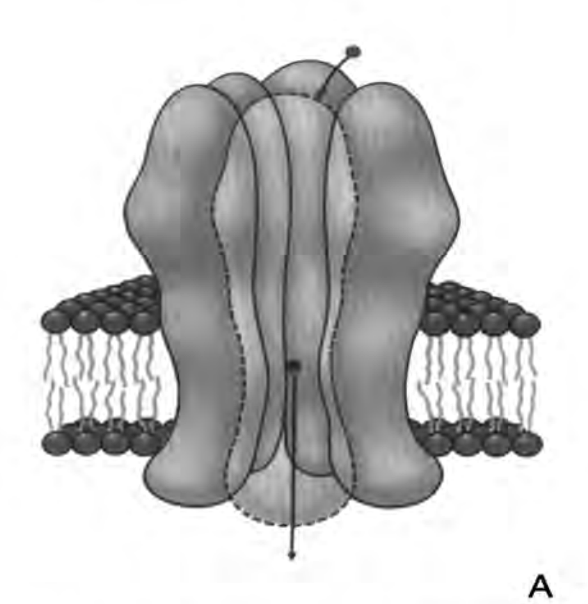
وكما كنا عرضنا، فالتنبيه العصبي يحدث بسبب تأثير عوامل (الضوء والصوت والرائحة والحرارة ...)، أو مواد (النواقل العصبية والهرمونات ...)، تحدث تغيراً في الشِّحن الكهربائية على جانبي غشاء الخلية (العصبون)، أو الليف العصبي. وينجم تغير الشِّحن (لدى التنبيه) عن خروج إيونات البوتاسيوم (الموجودة بتركيز مرتفع نسبياً داخل الخلية) خارج الخلية، ودخول إيونات الصوديوم (الموجودة بتركيز مرتفع نسبياً خارج الخلية) مكان إيونات البوتاسيوم، بسبب ضرورة الحفاظ على التوازن الإيوني (الكهربائي). وما إن يصل التنبيه إلى نهاية العصبون، حتى تفرز تغصناته الانتهائية مادة الأسيتيل كولين الذي تركبه الخلية العصبية نفسها. ويكون هذا الناقل العصبي الأساسي في حالة الراحة موجوداً ضمن حويصلات مجهرية، تتوضع بين تغصنات نهاية العصبون المنبه، وتغصنات بداية الخلية العصبية التالية التي ستنقل التنبيه. ويعرف الحيز الذي يقع بين نهاية العصبون المنبه وبداية جسم الخلية العصبية التي ستنبَّه، يعرف بالمشبك synapse (حيث تتشابك تغصنات الخليتين المتجاورتين). ويطلق على الحويصلات المليئة بالأسيتيل كولين (والتي هي في واقع الأمر نهايات التغصنات التي انفصلت عن التغصنات نفسها، وهذه ظاهرة خلوية شائعة)، يطلق عليها إذاً اسم الحويصلات المشبكية synaptic vesicle، vésicule synaptique، أو الجُسيمات المشبكية synaptosomes انظر (الشكل 8 . 25).

وما إن يصل التنبيه العصبي (انقلاب الشِّحن على جانبي غشاء الخلية العصبية، أو زوال الاستقطاب) إلى المشبك حتى تتمزق الجسيمات المشبكية، ويتحرر الأستيل كولين، لينبه آنياً الخلية العصبية التالية. وبغية ألاّ يستمر التنبيه (وتدخل الخلية العصبية، والعضلة التي تعصبها هذه الخلية - أو هذا الليف العصبي - في حالة كزاز، أو تنبيه مستمر)، يسارع أنزيم مهم جداً (هو أستيراز الأسيتيل كولين) إلى حلمهة (أي شطر الجزيء بتدخل الماء) هذا الإستر إلى مكونيه: حمض الأسيتيك (حمض الخل)، وكحول الكولين، الأمر الذي يوقف التنبيه في المشبك مادام نُقل إلى الخلية العصبية (العصبون) التالية. فتعطيل عمل أستيراز الأسيتيل كولين، يؤدي إلى استمرار التنبيه العصبي بوساطة الأسيتيل كولين، وحدوث الكزاز (التشنج العضلي الشديد، ولعضلات التنفس على وجه التخصيص)، الأمر الذي يؤدي إلى الموت السريع نتيجة الاختناق. وهذا ما يحدثه التسمم بمركبات الفسفور العضوية لمعظم مبيدات الحشرات المنزلية، وعوامل (غازات) الأعصاب، مثل فسفوفلوريدات ثنائي البروبيل المتساوي diisopropylphosphofluoridate (DIPF)، والمركبات الأخرى ذات الصلة، مثل الزومان والزارين ومجموعة VX (انظر نهاية الحاشية 8 . 6) إن ألفة الأنزيم لهذه المركبات أعلى بكثير من ألفة الأسيتيل كولين، فترتبط هذه المركبات بالأنزيم، وتبطل عمله، ليتفكك مع تقادم الزمن (ظاهرة الكِبر). ولكن يمكن حالياً تحضير لقاحات، يكتسب بوساطتها الأفراد مناعةً، تقيهم من فعل هذه المركبات شديدة السُميّة، التي قد تستعمل كأسلحة كيميائية.

وعندما يرتبط الأسيتيل كولين بمستقبله، تنفتح قناة في المستقبل المغروز في غشاء الخلية، يخرج بالضخ منها البوتاسيوم خارج الخلية، ويدخل الصوديوم عوضاً عنه. ولكن ما يدخل من إيونات الصوديوم يفوق كثيراً ما يخرج من إيونات البوتاسيوم، ذلك أن التدرج الكيميائي الكهربائي للصوديوم عبر الغشاء أشد انحداراً من التدرج

الكيميائي الكهربائي لإيونات البوتاسيوم. ويمكن تلخيص ما سبق عن آلية نقل التنبيه العصبي بقولنا: إن أدواراً متناسقة يؤديها الأسيتيل كولين، ومستقبله (الشكل 8. 24)، وإيونات البوتاسيوم، والصوديوم، وأنزيم أستيراز الأسيتيل كولين (6.8)، فينتقل التنبيه ولا يحدث الكزاز.





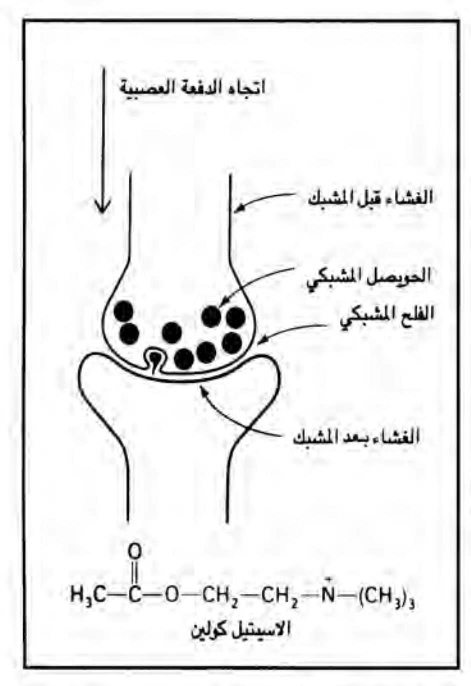
الشكل 24.8-أ. مخطط ترسيمي للبنية ثلاثية الأبعاد الوظيفية للوُحَّيدات الخمسة (اثنتان ألفا ، وثالثة بيتا ورابعة غاما وخامسة دلتا) لجزيء مستقبل الأسيتيل كولين بشكله المفتوح كقناة (A) والمغلق (B) . لاحظ كيف يخترق الجزيء بوُحَّيداته الخمس الغشاء البلزمي ثنائي طبقة من الليبيدات الفسفورية ، مشكلاً قناة تمر عبرها الإيونات في منطقة المشبك العصبي بين العصب والعضلة . تكون ثمالات الحموض الأمينية عابرة الغشاء البلزمي في الوُحَّيدات الخمس مكارهة للماء ، ويتراوح عددها ما بين 22 و 26 ثمالة . وتُغلق القناة (القسم B) بوساطة السلاسل الجانبية لحلزونات ألفا للسلاسل الببتيدية (الوُحَّيدات) الخمس (الشكل عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 13 القسم A ، و ص. 294 القسم B).



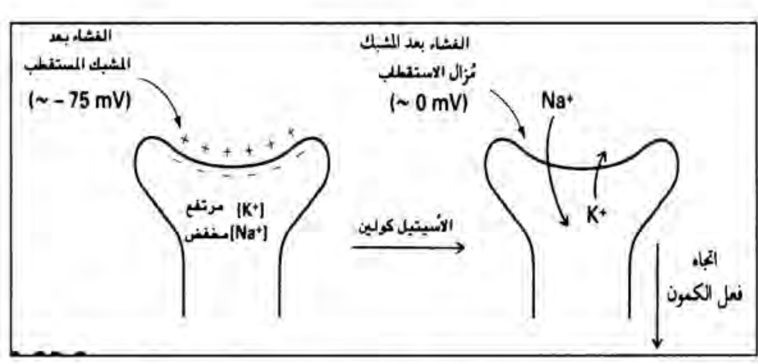
الشكل 8. 24-ب. البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية لمستقبل الأستيل كولين: لاحظ الوُحَّيدات الخمس (عن Klingler, C. La Recherche **347**.20-21(2001)).

(6.8) بالنظر إلى غزارة إيونات الصوديوم Na+ (التي يعود أصلها كالإيونات المعدنية كافة إلى الحساء البدئي)، بالنظر إلى غزارتها في السائل بين الخلايا وفي الدم (135 ميلي معادل، مقابل 5 ميلي معادل داخل الخلية). وبالنظر إلى أن تركيز إيونات البوتاسيوم K+، يكون تقريباً معاكساً لتركيز إيونات الصوديوم (145 في الداخل مقابل 5 في الخارج)، فإن غشاء الخلية يكون مستقطباً (الشكل 8. 25-أ). وما إن تتمزق الحويصلات المشبكية، ويتحرر الأسيتيل كولين، حتى يفقد الغشاء استقطابه (الشكل 8. 25-ب) بسبب انفتاح قناة مستقبل الأسيتيل كولين. ←



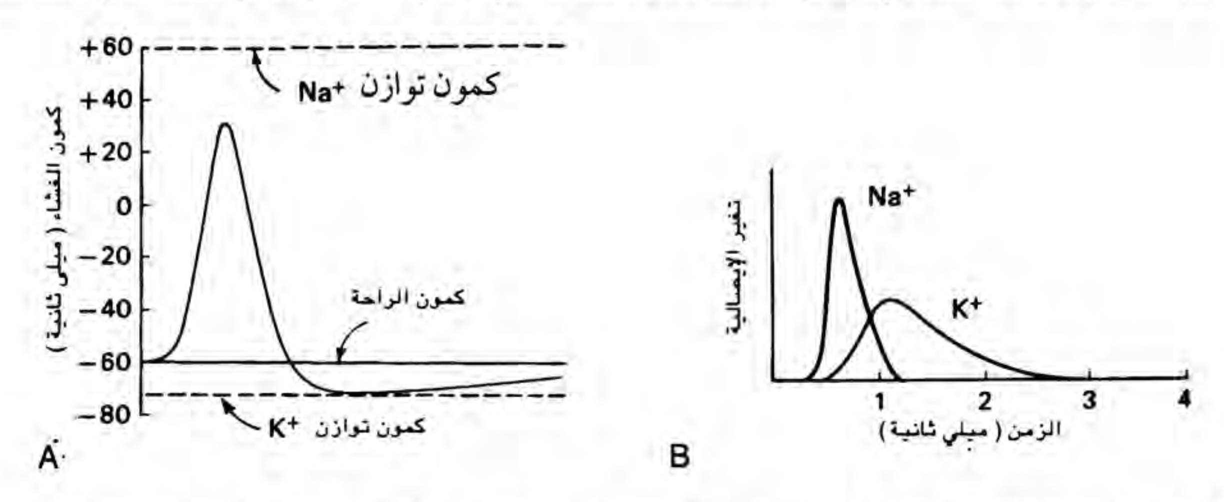


الشكل 8 . 25 ـ أ . مخطط ترسيمي للمشبك ولصيغة الأسيتيل كولين (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 292) .



الشكل 8 . 25 ـ ب . يسبب الأسيتيل كولين زوال استقطاب الغشاء بعد المشبك بزيادته إيصالية conductance إيونات الصوديوم Na^+ والبوتاسيوم K^+ (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 298) .

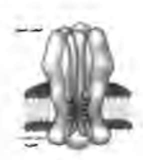
← فالغشاء في حال الراحة – بما في ذلك منطقة المشبك – يكون مستقطباً، أي موجب الشحنة على السطح الخارجي (المغمور بسائل الوسط الداخلي)، وسلبي الشحنة على السطح الداخلي (المغمور بالعصارة الخلوية) . وينشأ نتيجة زوال الاستقطاب فعل كمون، حيث يزداد كمون الغشاء من 60- (كمون الراحة أو كمون الاستقطاب) ميلي فولط إلى +30 (كمون زوال الاستقطاب) ميلي فولط في أثناء جزء من ألف من الثانية (الشكل 8 . 26). ←



الشكل 8 . 26. يسبب فقدان استقطاب المحوار axon ، axone نشوء فعل كمون . ويوضح الشكل تمثيل بياني لتغير كمون الغشاء مع الزمن (A) ، وتغير إيصالية إيونات الصوديوم Na^+ والبوتاسيوم K^+ (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 298) .

← وتفصل الغشاء قبل المشبك عن الغشاء بعد المشبك فضوة يبلغ عرضها 50 نانومتراً . ويبلغ عدد الحويصلات المشبكية التي تتمزق إثر وصول الدفعة العصبية (التنبيه العصبي) قرابة 300 حويصل، يحوي كل واحد منها نحو 1×10^4 جزيء أسيتيل كولين، ويرتفع تركيز هذا الناقل ←

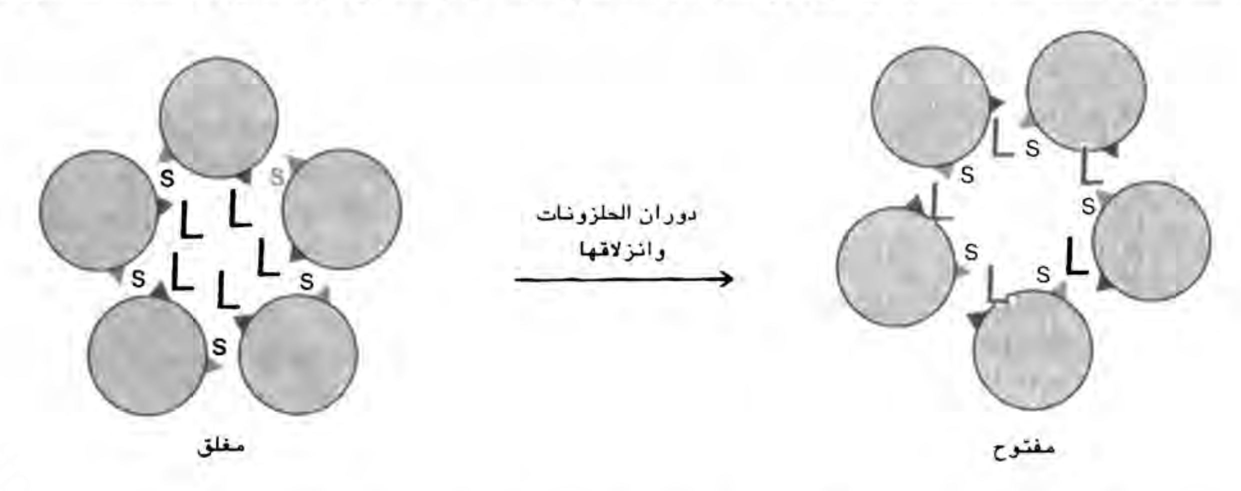




← العصبي في الفضوة المشبكية نحو خمسين ألف مرة (من 10 نانومول إلى 500 ميلي مول) خلال أقل من جزء من ألف من الثانية . ويُعدُّ مستقبل الأسيتيل كولين أفضل المستقبلات التي درست حتى الآن، حيث يوجد في أغشية الضفائر الكهربائية (الخلايا المولدة للفولطية) للعضو الكهربائي لسمك الرعّاد الكهربائي *Torpedo marmarota* قرابة عشرين ألف مستقبل في كل مكرومتر مربع من الغشاء . وتبلغ الكتلة الجزيئية النسبية للمستقبل 268 كيلودالتون، ويتألف من خمس وُحَيدات، هي : اثنتان ألفا، ووُحيدة بيتا، وأخرى غاما، ورابعة دلتا (ايُرجع إلى الشكل 8 . 24). ويوجد مَقر ربط الأسيتيل كولين في السلسلة (الوُحيدة ألفا). ولقد تبين من سَلسَلة DNA، AND لهذه الوُحيدات الخمس (التي تتراوح كتلها الجزيئية النسبية ما بين 50 و 58 كيلودالتون) أن هنالك تشابهاً كبيراً بين هذه الوُحيدات، الأمر الذي يدل على أنها نشأت (كجينات الغلوبلينات المناعية) من جين سلفي واحد، تضاعف وتباعد، ليشكل أربعة جينات مستقلة .

ويبرز المستقبل على السطح الخارجي للغشاء الخلوي (جانب المشبك) 60 أنغستروماً (كي يترابط الأسيتيل كولين به بآلية التعرف الجزيئي)، كما يبرز على السطح الداخلي للغشاء الخلوي (في العصارة الخلوية) مقدار 20 أنغستروماً. وللمستقبل على السطح الخارجي للغشاء فتحة عريضة نسبياً، يبلغ قطرها 22 أنغستروماً (تطل على المشبك). وتتضيق هذه الفتحة فجأة في مستوى الطبقة الخارجية لليبيدات الفسفورية للغشاء، ليصبح قطرها 10 أنغسترومات، ثم تعود لتتوسع إلى 20 أنغستروماً في الطبقة الداخلية لليبيدات الفسفورية للغشاء . وهكذا، فإن للمستقبل ثلاثة مجالات : مجال للدخول، يقع خارج الخلية ينفتح على المشبك، ومجال عابر للغشاء، ينتظم حول قسم ضيق، ومجال دخول داخل الخلية، ينفتح على العصارة الخلوية (يُرجع إلى الشكل 8 . 24). وتبطن المَسَّمَ خمسةُ حلزونات ألفا، يشكل كل حلزون منها جزءاً من كل وُحَيدة (سلسلة ببتيدية) من الوُحَّيدات الخمس التي تؤلف المستقبل . وتبلغ شدة التيار عبر القناة المفتوحة لمسم المستقبل 4 بيكوأمبير عندما يكون كمون الغشاء 100 فولط . ويكافئ الأمبير الواحد جريان 6.24×10^{18} شحنة بالثانية . لذلك فإن 2.5×10^{7} إيون من الصوديوم، تجري في الثانية الواحدة عبر القناة المفتوحة للمسم (أي $6.24 \times 10^{18} \times 4 \times 10^{-12} = 2.5 \times 10^{7}$ إيون Na^{+}).

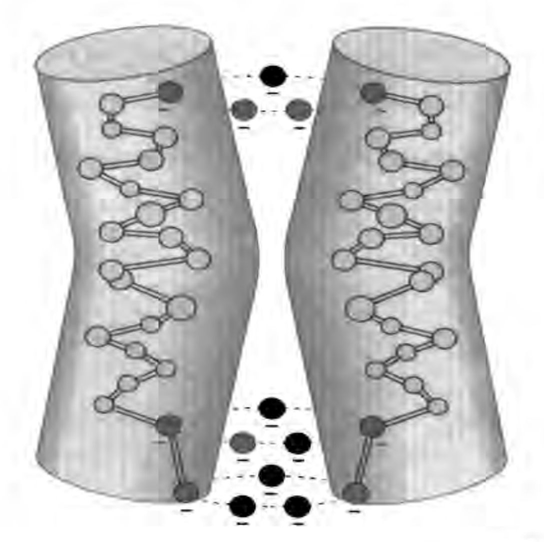
ولقد بينت الأبحاث أن جزيئين من الأسيتيل كولين يجب أن يرتبطا بالمستقبل كي تنفتح قناة المستقبل (الشكل 8 . 27 ، يُرجع أيضاً إلى الشكل 8 . 24). ويبلغ ثابت سرعة ترابط الأسيتيل كولين بأي من مقري ارتباطه 1×10^{8} مول بالثانية . ولذا، فإن هذا الترابط يحدث خلال 100 جزء من مليون من الثانية (أي 100 مكروثانية). وبالإضافة إلى الإيونات الموجبة أحادية التكافؤ ←



الشكل 8 .27. مخطط ترسيمي لقناة مستقبل الأسيتيل كولين بالحالتين المغلقة (اليسار) والمفتوحة (اليمين) . وينجم انغلاق القناة عن وجود خمس سلاسل جانبية كبيرة (L ، من large) مكارهة للماء محمولة على كل وحيدة من الوحيدات الخمس (يُرجع إلى الشكل 8 . 24) . ويؤدي انزياح هذه السلاسل الجانبية مكارهة الماء (بسبب تغير الوضع الفراغي ثلاثي الأبعاد للوُحَّيدات الخمس) إلى انغلاق القناة انغلاقاً اعتراضياً . أما انفتاح القناة ،فيُحفِّز ميلان حلزونات ألفا الخمسة، التي تبطن الجزء الضيق من القناة العابرة للغشاء البلزمي (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 297) .



←(مثل Na^+، و K^+) التي تعبر بسهولة قناة (أو مَسَمّ) مستقبل الأسيتيل كولين، فإن الإيونات الموجبة ثنائية التكافؤ (مثل Ca^{2+})، تستطيع أن تعبر القناة أيضاً. أما الإيونات سلبية الشحنة (مثل Cl^-)، فلا تتمكن من العبور، لأنها تُطرد بسبب وجود ثلاث حلقات سلبية الشحنة (الشكل 8 . 28)، تشكلها حلزونات ألفا، وتنشأ من ثمالات حمضي الأسـبارتيك والغلوتاميك التي تدخل في بنية هذه الحلزونات.



الشكل 8 . 28. مخطط ترسيمي يوضح أن انتقائية قناة مستقبل الأسيتيل كولين للكاتيونات (الإيونات موجبة الشحنة) تفرضها ثلاث حلقات من السلاسل الجانبية ذات الشحن السلبية الموجودة في المسم (القناة ، يرجع أيضاً إلى الشكل 8 . 24) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 297) .

← أما في ما يتعلق بأستيراز الأستيل كولين، فلقد تطورت لتصبح مثاليـة المردود. إن الجزيء الواحد من الأنزيم يستطيع أن يحلمه 25 000 جزيء من الأسيتيل كولين في الثانية الواحدة إلى حمض الأستيك (حمض الخل) وكولين، وفقاً للتفاعل التالي:

من السيرين

$$CH_3 - \overset{O^-}{\overset{|}{C}} \sim O - CH_2 - CH_2 - \overset{+}{N}(CH_3)_3$$

$$H - O - H$$

الكحول

الحمض

الى السيرين

فالأنزيم يلوي الرابطة بين كربون الكربوكسيل والأكسجين المرتبط بالجذر CH_2- الأقرب إلى الكربوكسيل. ويؤدي التواء الرابطة إلى انخفاض طاقة التنشيط انخفاضاً كبيراً، يسبب انفصامها. ويقوم هدركسيل السيرين بمنح هدرجينه إلى جذر هدركسيل الكولين، ثم يسترده آنياً من جزيء ماء الحلمهة. وتبلغ نسبة Kcat (ثابتة التحفيز، cat من تحفيز catalyse, catalysis) إلى K_m (ثابتة «ميكائيليس») 2×10^8 مول بالثانية (وتعبر هذه النسبة عن ألفة عالية للأنزيم إلى الأسيتيل كولين). وكما سبق أن عرضنا، فإن مركبات الفسفور العضوية (عوامل أو غازات الأعصاب، كالزارين والزومان، والمجموعة V، وما يماثلها)، ترتبط بهذا الأنزيم ارتباطاً غير قابل للعكس، فتبطل فعله. ويمكن حالياً تحضير لَقاحات مضادة لهذه المواد، لا تصون الأنزيم من عامل الأعصاب فحسب، إنما تقوم بتقويضه، ومن ثم تخليص الجسم الممنع من فعله السام.

إن تمزق الحويصلات المشبكية (نتيجة وصول الدفعة العصبية أو التنبيه العصبي) يؤدي إذاً إلى زيادة في تركيز الناقل العصبي (الأسيتيل كولين)، في الفضوة المشبكية قدرها خمسون ألف مرة. إن ارتباط جزيئين من الأسيتيل كولين بمستقبله، يؤدي إلى فتح قناة (مسم) المستقبل، الأمر الذي يسبب تغيراً مفاجئاً لنفوذية غشاء الخلية لكل من إيونات الصوديوم، وإيونات البوتاسيوم. ويؤدي هذا بدوره إلى زوال استقطاب الغشاء، وحدوث فعل الكمون، وانتقال الدفعة العصبية (التنبيه العصبي) إلى الخلية بعد المشبك، فيتولى عندئذ أنزيم أسيتيل الكولين أستيراز حلمهة الأسيتيل كولين الذي أدى الدور المطلـوب منه. وتجدر الإشارة إلى أن هذا التغير في نفوذية الغشاء الذي سببه الأسـيتيل كولين، يتوسـطه أيضاً مسـتقبل آخر هو مستقبل الأسـيتيل كولين النيكوتيني (وغالباً ما يعتبر كمستقبل الأسيتيل كولـين نفسه). كما أن الأسيتيل كولين يُفعِّل مستـقبلاً ←



← آخر هو مستقبل الأسيتيل كولين المسكاريني الذي يؤثر عبر البروتينات G (يُرجع إلى الحاشية 8.4)، وعبر مستقبل توافقي عام سباعي الحلزون (يُرجع إلى الشكل 8.13)، يؤثر إذاً في قناة البوتاسيوم، مبطئاً فاعلية الناظمة القلبية pacemaker مثلاً.

وأخيراً، تجدر الإشارة إلى نواقل عصبية أخرى غير الأسيتيل كولين، نذكر منها السيروتونين serotonin، sérotonine، الذي يتحرر من عصبون بيني، فيترابط بمستقبل توافقي عام سباعي الحلزون (يرجع إلى الشكلين 8.13، و 8.14). إن هذا الترابط يؤثر في البروتينات G، مؤدياً إلى تشكل أحادي فسفات الأدينوزين الحلقي (cAMP، الشكل 8.29) الذي يُفَعِّل (عندما يصل تركيزه إلى مستوى معين) كيناز البروتين من النمط A (PKA) (الشكل 8.30). إن هذا الأنزيم يفسفر في حالته المُفَعَّلة ثمالة سيرينية، أو تيروزينية نوعية في بروتين هدفي، الأمر الذي يسبب تفعيل هذا البروتين (سنعرض إلى هذا الموضوع المهم في الفقرة التالية -8.3.3-، وذلك بالإضافة إلى ما أشرنا إليه في الحاشية 8.4). ←





الشكل 8.30. صورتان مجهريتان لونتا بالتألق توضحان كيف يسبب الناقل العصبي السيروتونين ازدياد مستوى أحادي فسفات الأدينوزين cAMP زيادة مرموقة في العصبون الحسي للرخوي *Aplysia*. لقد تم تحديد تركيز أو مستوى cAMP باستعمال أنزيم كيناز البروتين (PKA) الموسوم بصباغ متألق fluorescent، حيث حُقن الأنزيم مجهرياً في العصبون. يدل اللون الأزرق في نهاية العصبون البعيدة عن جسم الخلية (القسم A من الشكل) على مستو منخفض من cAMP، في حين يشير اللونان الأصفر والأحمر في العصبون الذي تم حقنه مجهرياً (القسم B) على مستو مرتفع من cAMP. لقد ازداد تركيز هذا الرسيل (cAMP) في العصبون غير المنبه (A) من 50 نانومول (50×10^{-9} مول) أو أقل إلى 1 مكرومول (1×10^{-6} مول) (B)، وذلك بعد مرور 19 ثانية على إضافة السيروتونين إلى وسط الزرع (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 343).



الشكل 8.29. طراز ترسيمي للبنية ثلاثية الأبعاد الوظيفية لأحادي فسفات الأدينوزين الحلقي (cAMP) (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 343).

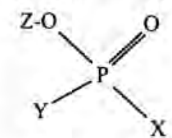
← كما ذكرنا منذ قليل، فان استراز الأسيتيل كولين تحلمه (وفقا للتفاعل السابق) الأستيل كولين لالى حمض الأسيتيك (الخل) والكولين. ان ثابتة الترابط(Ka)(يرجع الى نهاية الحاشية 4.8)تبلغ 1×10^{11} تقريباً. ولكن لدى وصول عامل الاعصاب (او أي من المركبات الفسفورية العضوية) الدم، فانه يترابط بالانزيم الحر، ويعطل فعله التحفيزي. ويؤدي استمرار هذا الترابط ذي الالفة العالية نسبياً (ومن ثم ضعف العكوسية) (لكن قيمة Ka تظل اقل من 1×10^{11}) يؤدي إذاً الى كبر vieillisement, eaging الانزيم، ومن ثم تخربه. ان تعطيل اكثر من 70%من هذا الانزيم بفعل عامل الاعصاب، يترك الأسيتيل كولين في المشابك العصبية فعالاً(أي لا تتم حلمهته لعدم توافر تركيز كاف من الأنزيم)، وتدخل الاعصاب والعضلات ذات الصلة بحالة كزاز بسبب تنبيهها المستمر من قبل الاسيتيل كولين. ويصيب الكزاز عضلات التنفس أولاً، ويحدث الموت (في خلال دقائق قليلة)نتيجة الاختناق. وكما هو معلوم، فان للأنزيم مقرين فعالين: **مقر ايوني** site anionique,anionic site، يحمل شحنة سالبة، ويرتبط به آزوت الكولين ذو الشحنة الموجبة، مما يثبت الربيطة (الأسيتيل كولين) بمستقبلها (استيراز الاسيتيل كولين) تثبيتاً قوياً بغية تسهيل تفاعل الحلمهة. اما **المقر الثاني** حيث تتم الحلمهة (وفقاً للتفاعل المنوه به اعلاه) فهو المقر ←



2.3.8. الفعل الهرموني

إن كلمة هرمون hormone يونانية الأصل (من hormön صيغة المضارع للفعل horman، وتعني يحرك، أو يستثير، أو يحث)، وتشير إلى مادة (أو رسيل) كيميائي، يفرزه تعنقد خلوي في غدة ذات إفراز داخلي، وينتشر في الدم إلى الدماغ والرئة والسبيل الهضمي. وكما سبق أن عرضنا، فإن هذه المواد تؤثر (بآلية التعرف الجزيئي) في خلايا هدفية، قد تكون بعيدة عن موضع الإفراز، أو أنها تنظم سيرورات استقلابية في أنحاء الجسم كافة [(7.8)]. ومع أن عدد الهرمونات أصبح الآن يقدر بالعشرات، فإن أول من استعمل هذا التعبير هما الباحثان «وليام بيليس»William Bayliss و«إرنست

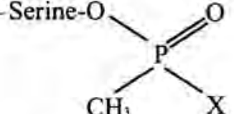
←الاستيرازي site esteratique,esteratic site هذا، ويمكن تمثيل عوامل الاعصاب بالصيغة العامة التالية:



واذا اعتبرنا المجموعة V (التي هي مشتقات فسفونوتيولية)كمثال، فان X في المركب VX تصبح تيو ثنائي الميتيلين ثنائي ايزوبروبيل أمين، أي:

$$-S-(CH_2)_2-N\begin{matrix} \diagup CH\begin{matrix}\diagup CH_3\\ \diagdown CH_3\end{matrix} \\ \diagdown CH\begin{matrix}\diagup CH_3\\ \diagdown CH_3\end{matrix}\end{matrix}$$

وتكون Y هي جذر الميتيل (أي CH_3-)، و Z هي جذر ألكيلي R (مثل CH_3-CH_2-CH_2). فعندما يرتبط مركب من هذا النمط باستيراز الاسيتيل كولين، فانّ الحمض الاميني السيرين الذي يشكل قسما اساسياً من المقر الاستيرازي للانزيم، يفسفر في زمرة الهدروكسيل(OH^--) منه ويصبح كالتالي:



ويغادر القسم Z (أي الجذر R) على شكل كحول. وبالنظر الى ان هذا التفاعل غير عكوس، فان الأنزيم يصاب بالكبر، ومن ثم ياخذ بالتدرك (التخرب). وتساعد الاوكسيمات على إعادة تفعيل قسم من إستيراز الأستيل كولين الذي تم تعطيله من قبل عامل الأعصاب. كما أن الأتروبين، (كضادة antagoniste, antagonist للأستيل كولين)، يخفف من الفعل الكزازي التشنجي للأستيل كولين الذي تراكم في المشابك العصبية. لهذا فإن المركبين (الأوكسيم والأتروبين) يعطيان معاً في حال التسمم بالمركبات الفوسفورية العضوية عامة، وعوامل الأعصاب خاصة. وكما ذكرنا غير مرة، فإنه يمكن تحضير لقاحات ضد عوامل الأعصاب، لا تحمي الأنزيم من فعلها السام فحسب، إنما يعمل الضد المتشكل كأنزيم (أبزيم abzyme، من ضغم كلمتين هما antibody و enzyme)، فيحلمه عامل الأعصاب، ويعطل فعله.

(7.8) إن الهرمونات التالية: الكالسيتونين، وموجهة المنسل المشيمائية، والموجهة القشرية، والإبينفرين (الأدرينالين في بعض المراجع)، والهرمون منبه الجريب والغلوكاكون والليبوتروبين (مضاد التشحم) والهرمون الملوتن والهرمون منبه الخلايا الملانية والنورإبينفرين وهرمون الدُريقات (جنيبة الدرقية) والهرمون منبه الدرقية والفازوبرسين. إن هذه الهرمونات كلها تنظم السيرورات الاستقلابية، وأفعالاً بيولوجية أخرى عن طريق ترابطها بمستقبلات نوعية (بآلية التعرف الجزيئي)، توجد على سطوح الأغشية الخلوية، فيؤدي هذا الترابط إلى تفعيل البروتينات G (يُرجع إلى الحاشية 4.8 والشكل 15.8)، التي تنشط بدورها سيكلاز الأدينيلات، فيحول هذا الأنزيم ثالث فسفات ←



ستارلينغ» Ernest Starling عام 1904 في وصفهما لفعل السكريتين secretin، sécrétine الذي يفرزه العفج (الإثنا عشري)، وينبه جريان العصارة البنكرياسية. وتؤدي الهرمونات (بالتعاون مع الجملة العصبية) إلى حدوث ظاهرة الاستتباب (أي الحفاظ على نظامية أفعال الجسم الاستقلابية)(8.8).

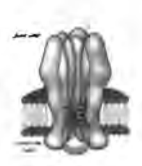
3.3.8. الاستجابة المناعية

لقد سبق أن أشرنا غير مرة إلى أن الاستجابة المناعية (9.8) تشكل مستوى متفرداً من حيث التكامل الوظيفي، فتسهر على صون الجسم من فعل العوامل الممرِضة (الممرِضات) التي تحاول غزو الجسم وتدميره. ويتفرد الجهازالمناعي بنوعيته

← الأدينوزين إلى أحادي فسفات الأدينوزين الحلقي (cAMP، الرسيل الثاني). وما إن يصل تركيز cAMP إلى مستوى معين، حتى يفعل كيناز البروتين من النمط PKA) A) الذي يفسفر ثمالات سيرينية و تيروزوينية نوعية في بروتينات هدفية معينة، فتصبح هذه البروتينات مُفَعَّلة (يُرجع إلى الحاشية 6.8). إن هذا التفعيل، يؤدي إلى انخفاض طاقة التنشيط لتفاعلات معينة، الأمر الذي يتسبب في حدوثها. ويمكن لبعض هذه الهرمونات (الإيبنفرين مثلاً) أن يفعل البروتينات عن طريق ترابطه بمستقبل سباعي الحلزون (وهذه بنية توافقية شائعة)، يوجد في غشاء الخلية الهدف (يُرجع إلى الشكل 13.8).

(8.8) يستطيع الجسم أن يحافظ في الحالة الفيزيولوجية شبه السوية (المرضية غير المتطرفة) على هامش معين من نظامية وظائفه، وذلك في ما يتعلق بتراكيز مواد الوسط الداخلي كلها (بدءاً من الإيونات المعدنية حتى الأنزيمات و RNA، ARN، مروراً بالأملاح، والمواد العضوية كافة، من سكاكر وليبيدات -شحوم-، وهرمونات، ونواقل عصبية، وعناصر الدم -الكريات الحمر والبيض والصُفيحات-، وكذلك الرقم الهدرجيني pH لوسط الجسم الداخلي، ولدرجة حرارته . . .). وتتم هذه المحافظة بفعل ظاهرة تعرف بالاستتباب homeostasis، homéostase، ويمكن تلخيصها بقولنا إنها الثبات النسبي للوسط الداخلي لكل كائن حي. ويحدث هذا الثبات بفضل آليات التلقيم الراجعfeed- back، rétroaction، وذلك على الرغم من استمرار تأثير ما بوسعه إحداث تغيير عميق في وظائف هذا الكائن. فمثلاً، عندما ينخفض تركيز (توتر) الأكسجين في الوسط الداخلي، تنبه بنى عصبية معينة التنفس كي يزداد للمحافظة على مستوى وظيفي سوي من الأكسجين. وما أن يتحقق هذا المستوى حتى يتوقف التنبيه العصبي للجهاز التنفسي. والتليقم الراجع يحافظ على تراكيز الهرمونات أيضاً. فمثلاً، هرمون التيروكسين الذي تفرزه الغدة الدرقية (المسؤول عن معدل الاستقلاب العام للجسم)، يُضبط تركيزُه في الدم (ضمن هامش معين) من قبل تركيز هرمون آخر يفرزه الفص الأمامي للنخامى (الغدة النخامية)، ويعرف بالهرمون الموجه للدرقية. وعندما يهبط تركيز التيروكسن في الدم، فإن هذا الانخفاض ينبه إفراز الهرمون الموجه للدرقية، فيرتفع تركيز هذا الهرمون في الدم، مسبباً تنشيط تركيب التيروكسين، وإفرازه في الدم. ويستمر ذلك حتى يصل مستوى التيروكسين في الدم إلى حدٍ أعظمي فيزيولوجياً، فيعمل هذا التركيز المرتفع نسبياً للتيروكسين على تثبيط إفراز الهرمون الموجه للدرقية من قبل الفص الأمامي للنخامى، فيتباطأ إفراز هذا الهرمون حتى يصل إلى حد أدنى، يعود ليزداد عندما ينخفض تركيز التيروكسين دون حد معين، لتبدأ الدورة من جديد، وهكذا. فوظائف الجسم كافةً ينظمها التلقيم الراجع ليصون الاستتباب. ونعتقد أن هنالك تلقيماً راجعاً على مستوى الخلية نفسها. فعندما ينخفض في الخلية عدد جزيئات الحمض النووي الريبي الرسيل مثلاً دون حد معين (ذلك أن هذه الجزيئات تبلى لأن لها عمر نصف محدد)، فإن آلية جزيئية افتراضية تنبه جملة الانتساخ (عوامل الانتساخ، وفي مقدمتها العامل NF-kB)، وعلى وجه التخصيص ترابط هذه العوامل بتسلسلي تاتا وكات في المحضّض والمعزّز، الأمر الذي يؤدي إلى تنبيه بوليميراز RNA، ARN) كي يتم تركيب عدد من جزيئات هذا الحمض يساوي العدد الذي أصابه البلى. ونرى أن هذه المحاكمة، يجب أن تصدق في ما يتعلق بمعظم مكونات الخلية، التي تؤدي وظائف معينة (كالأنزيمات، والمستقبلات الداخلية والغشائية، وجزيئات توليد الطاقة ـ وفي مقدمتها ATPـ، ومعظم عناصر آلة تركيب البروتين . . .).

(9.8) تصنف الاستجابة المناعية تطورياً في نوعين: الاستجابة الغريزية، والاستجابة المكتسبة. ويمكن القول إن الاستجابة المناعية الغريزية بدأت بوحيدات الخلية التي تدافع عن نفسها بامتلاكها أنزيمات تقوض الأجسام الغريبة التي تدخل الخلية. إن أنزيمات التقييد (التي سنعرض ←



← في الفصل التالي، والتي توجد في البكتيريا، وتعمل على حلمهة الجينات الغريبة التي تدخل الخلية) هي خير مثال عن هذه المناعة الغريزية البدائية. وما إن ظهرت عديدات الخلايا، حتى نشأت خلايا جوالة لا نوعية، تتولى التقام الأجسام الغريبة، والتخلص منها تقويضياً[76]. وتوجد في اللافقاريات الخلايا البلعمية phagocytes التي تلتهم التهاماً لا نوعياً كل ما هو غريب، وتعمل على تفكيكه. ولقد اكتشف هذه الخلايا في مطلع القرن الماضي عالم الأحياء الدقيقة الروسي «ايلي ميتشينكوف» Elie Metchinkov أو Metchinkoff (1845–1916)، الذي فاز بجائزة نوبل عام 1908. فلقد لاحظ ميتشينكوف هذه الخلايا تتزاحم حول شوكة نباتية، غرزها في جسم يرقة نجم البحر الشفيفة (الشكل 8 . 31). ←



الشكل 8 . 31. صورة ترسيمية توضح تجربة «ميتشينكوف» التي أجرها عام 1882 . لاحظ تزاحم البلعميات الكبيرة حول جزء الشوكة التي غرزها هذا الباحث في جسم يرقة نجم البحر ذات البنية الشفيفة . إن البلعميات الكبيرة في مثل هذه الاستجابة المناعية الغريزية (الفطرية) تتجمع حول الجسم الغريب في محاولة لتقويضه ، وللتخلص منه . إن هذه الخلايا البلعمية ، أو ما يماثلها ، توجد في الزمر الحيوانية عديدات الخلايا ت كلها ، وهي عموماً غير نوعية ، إنما بعضها نوعي في الفقاريات العليا . كما يوجد ما يماثلها في النباتات الراقية (عن Beck, G. and Habicht, G. S.1996 ، المرجع 76 ، ص. 60) . لقد ترجمت هذه المقالة إلى العربية ، ونشرت في « مجلة العلوم » (الكويت) ، المجلد **13** ، العدد **2** ، فبراير (شباط) 35–40 (1997) ، الشكل في الصفحة 35 من الترجمة .

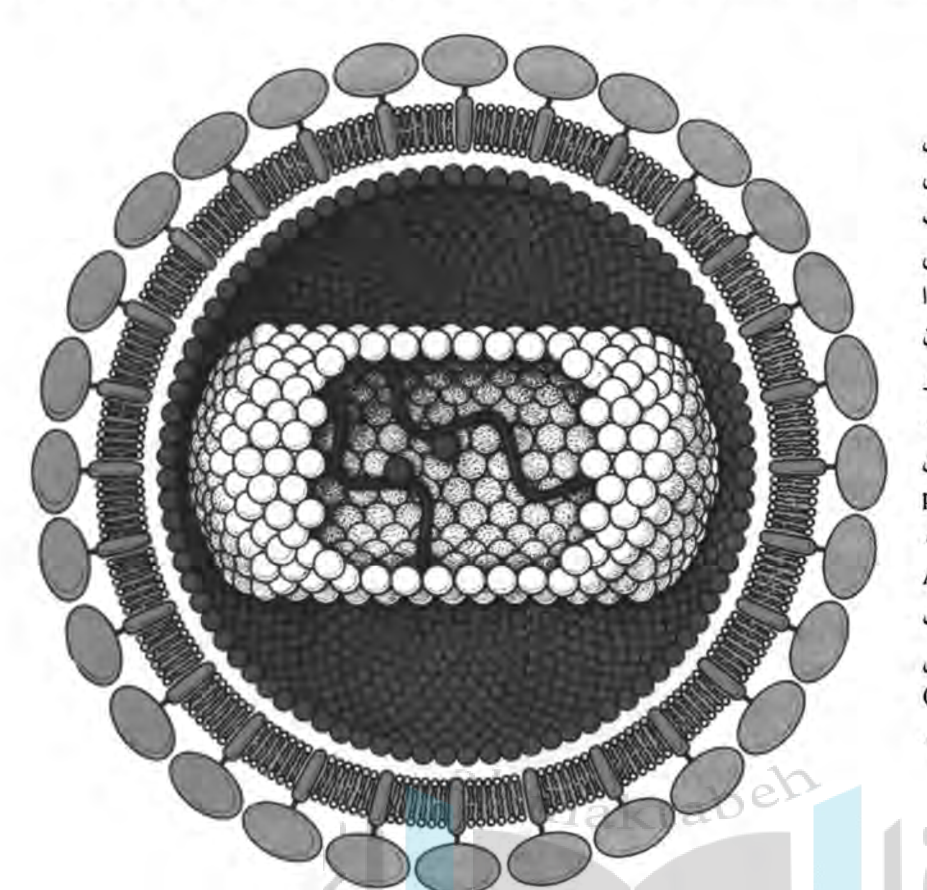
← واستمرت هذه الخلايا اللانوعية في الفقاريات باسم البلعميات الكبيرة macrophages، علماً بأن هذه الخلايا تحمل مستقبلات لمواد معينة، ومن ثم تنزع لأن تكون نوعية. وبالإضافة إلى البلعميات، فإن بعض اللافقاريات (والحشرات على وجه التخصيص) والفقاريات، تحوي في وسطها الداخلي ببتيدات، بوسعها تثقيب أغشية الخلايا الغريبة (وبخاصة البكتيريا) تثقيباً لا نوعياً، حيث تتولى الأنزيمات حل جثث هذه الخلايا. وخلاصة القول إن المناعة الغريزية هي مناعة لا نوعية، وتوجد حتى في النباتات.

ومع أن الفقاريات احتفظت بالبلعميات الكبيرة (ونزعت بها فيما يبدو إلى النوعية)، فإنها طورت جهازاً مناعياً لا يتمتع بنوعية مذهلة فحسب، بل تتخاطب فيه الخلايا، وتتعرف الجسم (الذات)، وتميزه عن الغريب (اللاذات)، وتمتلك ذاكرة خلوية جزيئية (خاصة بكل نسيلة خلوية، وتعمل فيها الخلية الواحدة بمفردها، على عكس ذاكرة الدماغ التي تعمل فيها الخلايا كساحات عصبية. فالذاكرة المناعية تلائم تلاؤماً أمثل سيرورات ردود أفعال تحدث داخل الجسم، في حين أن ذاكرة الدماغ تلائم حياة الفرد خارج جسمه). والذاكرة المناعية تترصد المستقبل، وتعمل فيه، في حين أن ذاكرة الدماغ تعمل في الحاضر، ولا تتدخر للمستقبل سوى التجريد والاستقراء. ويبني الجسم دفاعاته المناعية بتعرضه للعوامل الخارجية (وبخاصة ما يدخل الجسم عن طريق التنفس والهضم). ويكون الوليد الذي وُلد لتوه بكراً مناعياً، وليس لجهازه المناعي أي خبرة في هذا النطاق، ويكتسب ذلك تدريجياً، لذا عرف هذا النوع من المناعة بالمناعة المكتسبة. ويمكن أن نميز تقليدياً في المناعة المكتسبة نمطين: المناعة المكتسبة الخلطية، والمناعة المكتسبة الخلوية. أما في ما يتعلق بالخلايا التي تنجز هذين النمطين من المناعة المكتسبة فتقع في ثلاثة صفوف ←

76. Beck , G. and Habicht, G.S., Scientific American , **November** (1996) 60 - 66.

لقد ترجمت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت في « مجلة العلوم » (الكويت)، المجلد **13** العدد **2** فبراير (شباط) 1997, الصفحات 35–40.

المذهلة (يشكل لكل جسم غريب غازٍ جزيئاً نوعياً يحاول إبطال فعله، انظر الشكل 8 . 32)، وبمقدرته على التمييز بين ما هو من الذات (من الجسم نفسـه)، وبين ما هو من اللاذات (الغريب عن الجسـم). كما يتفرد الجهاز المناعي في أنه يستطيع (عن طريق إعادة التراتب، والطفر النقطي، وانزياح الرامزة (الكودون) لقرابة 300 جين أساسي) أن يركب نحو



الشكل 32.8-أ. مخطط ترسيمي لفيروس عوز المناعي البشري (HIV) ، العامل المرض المسبب لمتلازمة عوز المناعي البشري المكتسب (الإيدز AIDS أو السيدا SIDA). لقد مثل البروتينان السكريان الغلافيان gp41 ، و gp120 بالأخضر العاتم والفاتح. يحوي لب الفيروس نوعين من الوُحيدات البروتينية : p18 (البرتقالي) ، و p24 (الأبيض)، وجينوماً من RNA ، ARN (الأحمر)، وعدداً من جزيئات أنزيم الترنسكربيتاز العكسي (أنزيم الانتساخ االعكسي) (الأزرق) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 385) .

←رئيسة: الخلايا المقدمة للمستضد (الجسم الغريب أو اللاذات)، واللمفاويات البائية أو البائيات، واللمفاويات التائية أو التائيات (يرجع إلى الشكل 6.8 . -جـ). إن هذه الخلايا كلها تنشأ في نقي العظم، وتنضج البائيات منها في الدوران، أما التائيات فتخضع في غدة التوتة لعملية تربية، فتصبح قادرة على تمييز الذات من اللاذات. وفي حين أن المناعة الخلطية تعطل المستضدات، فإن المناعة الخلوية تدافع عن الجسم ضد الفيروسات، والفطور، والطفيليات، والخلايا الطافرة (التي قد تتحول إلى خلايا سرطانية)، والأعضاء المغترسة.

ولدى دخول المستضد الجسم، تلتقمه الخلايا المقدمة للمستضد (البلعميات الكبيرة، وخلايا لانغرهانس الجلدية، والخلايا التغصنية، والخلايا البطانية)، وتقوضه، لتعرض مكوناته على سطحها محمولةً على جزيئات الصف الأول من معقد التوافق النسيجي الكبير في ما يتعلق بالمناعة الخلوية، وعلى جزيئات الصف الثاني في ما يتعلق بالمناعة الخلطية، وكذلك على سطح البائيات في ما يتعلق بنمط المناعة الخلطية. تتعرف عندئذ تائية نوعية من النمط CD4 معقد الصف الثاني و المستضد معروضاً على سطح الخلية مقدمة المستضد والبائية، أو تتعرف تائية نوعية من النمط CD8 معقد الصف الأول والمستضد. فتنشط الخلية CD4 لتعطي خلايا مساعدة وأخرى ذاكرة. وتنشّط CD4 المساعدةُ الخليةَ البائية لتنقسم، وتعطي خلايا بلزمية تفرز الأضداد لتعطيل المستضد. أو تنشط CD8 سامة الخلايا لتقتل الخلية التي غزاها الجسم الغريب (الفيروس على وجه التخصيص). ولا بد أخيراً من التأكيد في هذا الصدد أن هذا التعريف الموجز لا يغني عن الرجوع إلى المراجع 70 و 71 و72 ، وإلى العدد الخاص من « مجلة العلوم » (الكويت)، الموسوم بالعنوان: «الحياة والجهاز المناعي»، المجلد **11** العدد **10** أكتوبر (تشرين الأول) 1995 ، وإلى كتاب «**مقدمة في علم المناعة الجزيئي**، للمؤلف، منشورات جامعة دمشق، 1993.



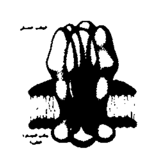


الشكل 32.8-ب. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرسي (الماسح) للفيروس HIV (الأحمر)، يتوضع على سطح تائية من النمط CO4 (تائية مساعدة) [عن (2000) Chicurel, M.Scienee **290,**1877-1879].

18 بليون (1.8×10^{10}) بروتين مختلف[77] تعرف بالأضداد antibodies ، anticorps، تترابط بالأجسام الغريبة (بآلية التعرف الجزيئي) وتبطل فعلها. ويمكن لهذا الجهاز أن يشكل عدداً هائلاً من مستقبلات اللمفاويات التائية، ومستقبلات البلعميات الكبيرة [(يُرجع إلى المراجع 70 و 71 بالإنكليزية، وإلى المرجع 72 بالفرنسية، وإلى العدد الخاص من «مجلة العلوم» (الكويت) الموسوم بالعنوان «الحياة والجهاز المناعي»، المجلد **11** العدد **10** أكتوبر، تشرين الأول (1995)، وإلى كتاب «**مقدمة في علم المناعة الجزيئي**» للمؤلف، منشورات جامعة دمشق، (1993)]. كما يتفرد الجهاز المناعي بأن خلاياه، تمتلك ذاكرة جزيئية مذهلة، ويخاطب بعضها البعض مخاطبة مباشرة، إما عن طريق المستقبلات التي توجد على سطوح خلايا الجهاز المناعي (بآلية التعرف الجزيئي)، أو بوساطة ببتيدات (جزيئات بروتينية ذات كتل جزيئية نسبية منخفضة نسبياً)، تفرزها الخلايا المناعية، وتعرف بالسيتوكينات cytokines، أو الإنترولوكينات interleukines، أو اللمفوكينات lymphokines، أو الكيموكينات chemokines (أي المواد المحركة للخلايا)، والتي لها وزن جزيئي منخفض، ويقارب عددها العشرين. كما أن الجهاز المناعي، وحرصاً منه على رفع فاعليته من حيث النوعية، يعمل بالتوافق مع جزيئات صفي معقد التوافق النسيجي الكبير (يُرجع إلى الحاشية 8. 4). أن جزيئات هذا المعقد تقيم أيضاً حاجزاً طبيعياً بين خلايا الفرد وخلايا الأفراد الآخرين كافةً، التي سيكون مصيرها - أي الخلايا - الرفض في حال دخولها الجسم (حالات اغتراس الأعضاء). والرفض لا يحدث إلا في حالة واحدة، هي حالة التوائم التي تكونت من بيضة واحدة. **إن هذه الخصائص التي يتفرد بها الجهاز المناعي تمنحه أهمية خاصة، وصلت البيولوجيا بالفلسفة، إنها تعبير متفرد عن تطور موجه ذي معنى (من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية)، أبدعته سيرورات ذات صلة بالحفاظ على سلامة الجسم، انبثقت عن الروابط التكافؤية واللاتكافؤية للإيونات والجزيئات العضوية (الصِغرية منها والكِبرية)، التي نشأت بدورها من القوى الأربع للطبيعة التي وصفناها مع قوانين الطبيعة بأنها «إرادة الله».**

وكما هي الحال في ما يتعلق بالجملتين العصبية والهرمونية، فإن الاستجابة المناعية كانت هي الأخرى بدائية في الحيوانات اللافقارية. فلقد اقتصرت على خلايا بلعمية (تبتلع الجسيمات والمواد الغريبة كلها)، تجول في الوسط الداخلي، وتلتهم كل ما تصادفه من مواد لا علاقة لها بجسم الكائن الحي. وبسبب عدم نوعية هذه الخلايا (أي وجود نوع خلوي واحد تبتلع الخلية الواحدة منه كل ما تلتقيه من أجسام غريبة)، فلقد أطلق البعض عليها اسم الخلايا الكانسة scavengeres (في الأصل اللاتيني: الموظف أو العامل المسؤول عن بقاء الشوارع نظيفة). وبالإضافة إلى هذه الخلايا الكانسة، فإن غدداً في جسم اللافقاري تفرز (كما سبق أن عرضنا) ببتيدات (قصيرة التسلسل، أي تتألف من نحو ثلاثين

77. Beck , G. and Habicht, G.S., Scientific American , **November** (1996) 60 - 66.



حمضاً أمينياً)، ذات مقدرة على تثقيب غشاء البكتيريا، ومن ثم قتلها. وعملية التثقيب والقتل هما عمليتان لا نوعيتان. كما أن ببتيدات قصيرة مماثلة عُزلت من جلد بعض الفقاريات، ومن جهازها الهضمي.

وإذا كان التنسيق العصبي الهرموني يعمل (كما ألمحنا في ما سبق، وكما سنعرض لاحقاً) على الحفاظ على بُقيا (البقاء على قيد الحياة) الفرد، ومن ثم استمرار النوع، بمحاولته التخلص من المفترس (المعتدي الخارجي)، فإن الاستجابة المناعية تحاول حماية الفرد (ليستمر النوع أيضاً) من الغريب الذي يعتدي على الجسم من الداخل. وتتم هذه الحماية من قبل الجهاز المناعي بطريقة أكثر عمقاً، وأشد أصالةً، وأدق بنية وأداءً مما يحدث في الجملة العصبية الهرمونية. وكما كنا أشرنا، فإن إحدى السِمات التي يتفرد بها الجهاز المناعي عن غيره من أجهزة الجسم كلها هي «المعرفة الجزيئية»: المعرفة الجزيئية في التعرف، والمعرفة الجزيئية في التذكر. فبخلايا الجهاز المناعي، تعرف كيف تميز الذات (مكونات الجسم كلها) عن اللاذات (الغريب) مهما كانت طبيعته، شريطة أن يكون حجمه من الكبر بحيث تراه خلايا الجهاز المناعي. إن هذه الخلايا لا تتعرف إيوناً معدنياً غريباً عن الجسم (كإيون الرصاص مثلاً) لصغر حجمه، في حين أنها ترى أي ببتيد، أو جسم تقارب كتلته الجزيئية النسبية أو وزنه الجزيئي ألف دالتون. فالأجسام الغريبة (التي أصبحت عوامل ممرِضة، كالفيروسات والبكتيريا والفطور والطفيليات، وحتى الأعضاء المغترسة) كلها ضخمة جداً، تراها خلايا الجهاز المَناعي بسهولة. ولقد نجمت هذه المعرفة في التعرف (أو التمييز بين الذات واللاذات) عن عملية تربية حقيقية تتم في غدة التوتة (التي تتوضع فوق القلب)، وتتناول اللمفاويات التائية. أما المعرفة في التذكر، فتنجم من احتفاظ الجهاز المناعي بخلايا اشتقت من سليفات لها، سبق أن التقت الجسم الغريب، أو العامل الممرض. فما إن يدخل الغريبُ الجسمَ ثانية، حتى تتعرفه هذه الخلايا الذاكرة شديدة النوعية. فلكل جزيء غريب ذاكرة خاصة به. كما يمكن لخلايا الجهاز المناعي أن تجهز على الخلايا الطافرة، وبخاصة تلك التي ستشرع في تشكيل الخباثة (إحداث التسرطن)، أو حتى يمكن تعليم خلايا الجهاز المناعي مكافحة التسرطن.

في الزمن الكمبري، وقبل قرابة 550 مليون عام من الآن، ولدى ظهور تصاميم مخططات أجسام حيوانات اليوم، أُقيم تنسيق دقيق بين الجملتين العصبية والهرمونية في محاولةٍ لحماية النوع من المفترس، ولصون تكاثره. وعانى الجهاز المناعي تطوراً، أوصله تدريجياً إلى السِمات التي يتفرد بها. كما أقام هذا الجهاز تناسقاً وثيقاً مع الجهازين العصبي والهرموني. ولقد أدى هذا التنسيق الدقيق (الذي سنعرض لجوانب محدودةٍ منه) إلى دفع التطور الموجه الحتمي باتجاه الوصول إلى حياة ذكية. **ذلك أننا لو دققنا في هذا التنسيق المذهل، لوجدنا أنه يتمثل بتفاعلات كيميائية، عمادها ترابط ربيطات (هرمونات أو عوامل نمو مثلاً) بمستقبلاتها، بوساطة روابط لا تكافؤية عكوسة (الانتقاء الطبيعي)، تحكمها طبيعة الجزيئات المتآثرة، بما في ذلك شحنها الكهربائية. إن طبيعة الجزيئات هذه، وما تحمله من شحن هي أصلاً وليدة القوى الطبيعية الأربع (التي تمثل، مع قوانين الطبيعة، وكما ذكرنا غير مرة) (إرادة الله) لأنها خالدة في الزمن، خُلقت كي تنظم الكون، ومادته.**

وإذا عدنا إلى الجهاز المناعي، فمنذ أن وجدت الأنواع الحيوانية كما نعرفها اليوم، وقبل 550 مليون عام، وفي الزمن الكمبري، حيث عانت الأرض من جفاف واضح (فأصبحت مياه المحيطات ضحلة العمق)، ومن مناخ غير مستقر، يسوده أحياناً ارتفاع ملموس في درجة الحرارة، دخلت الأنواع الحيوانية في صراع دائم ضد الغزاة، وبخاصة ضد



الفيروسات. ويرى بعض الباحثين [78] أن تطور أجهزة الجسم كلها أتت ردَّ فعل من الجسم للتخلص من الفيروسات. إن هذه الكائنات الحية تعيش في معظم الأحيان داخل الخلايا، ودائماً تستولي عليها. ولقد ذهبت بها حياة التطفل بحيث لم تبق منها إلاّ ماكنة التوالد، وما يساعدها على حقن نفسها داخل الخلية المضيفة. فكلما طورت هذه الفيروسات (الطفيليات الذكية) أسلوباً جديداً للتملص من مراقبة الجهاز المناعي، كلما استنبط الجسم طريقة أشد نجاعة لضبط عدوانية الفيروس في محاولة منه للقضاء عليه. كما يمكن للطفيلي أن يغير في بنى جسم المضيف وفي سلوكيته، بحيث يجعله يقدم نفسه تلقائياً (بغية ضمان استمرار الطفيلي وانتشاره) إلى المضيف النهائي، كما يحدث في عدد من الطفيليات، التي تتطفل على الأسماك والحشرات والجرذان، وتتخذها كمضيف متوسط، فتجعلها تظهر نفسها، وتعرض ذاتها أمام المضيف النهائي، فيفترسها، وبذلك تضمن وصولها إلى هذا المضيف، فتحافظ على النوع، وتضمن استمراره في الطبيعة، وانتشاره فيها. (يُرجع إلى الحاشية 5 من «المقدمة»). ولكن بعض الفيروسات، استطاعت أن تتخذ من خلايا الجهاز المناعي نفسها (الخلايا التي يقع على عاتقها التخلص من الفيروس، ومن أذاه) موئلاً، تستقر فيه ريثما تستولي عليه كلياً. وهذه هي حال فيروس عوز المناعة البشري (HIV) (الشكل 8. 32)، الذي يسبب متلازمة عوز المناعة المكتسب (الأيدز AIDS، أو السيدا SIDA). هذا ويمكن الرجوع إلى العدد الخاص من «مجلة العلوم» (الكويت) الموسوم بالعنوان: «ماذا يعرف العلم عن مرض الإيدز»، المجلد **6** العدد **3**، مارس (آذار) 1989، الذي يعالج الجوانب المختلفة لهذا الفيروس، وللإصابة التي يحدثها. وبطبيعة الحال، فإن أموراً عديدة ومهمة، تكشفت منذ عشر سنوات حتى الآن، وذلك في ما يتعلق بعلاقة الفيروس بالجهاز المناعي، وعلى وجه التخصيص بآلية دخوله الخلايا التائية المساعدة (CD4). ولكن حتى الآن عجزت الجهود كلها عن تحضير لقاح ناجع ضد HIV (انظر: «تقرير خاص حول الإيدز والفيروس HIV»، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **15** العدد **4** إبريل (نيسان) 1999، الصفحات 37-68).

وكما هو معلوم، فان HIV يخمج (يعدي) عادة التائيات المساعدة عن طريق المشبك المناعي الذي يتشكل بين الخلية التغصينة والخلية التائية. ومع أن الفيروس يختبئ داخل هذا الخلايا ويستولي في النهاية عليها بعد أن يتكاثر فيها بأعداد كبيرة. فينهار غشاؤها، وتنتقل HIV (عن طريق الدمَ عامة) إلى الخلايا الأخرى. ويستثير وجود الفيروس في الدم مناعة خلطية، وتتشكل أضداد ضد بروتيناته الغشائية. ويمكن الكشف عن هذه الأضداد بتقنية المقايسة المناعية الأنزيمية، أما الاختبار التأكيدي، فيتم إما بتقنية تبصيم وسترن western blot، وإما بالتفاعل السلسلي للبوليميراز (PCR) (انظر الحاشية 3.9). ويمكن للمريض أن يكون لا أعراضياً (أي يحمل الفيروس ولا يظهر الأعراض) asymptomatique, asymptomatic. اما الأعراض، فتظهر عندما يهبط عدد التائيات المساعة Th1 الحاملة للواسمة CD4 إلى أقل من 200 تائية في الميلي لتر الواحد من الدم، إن انهيار هذا الجهاز، يؤدي إلى ظهور امراض انتهازية (أي تنتهز العوامل الممرضة انهيار الدفاعات المناعية للجسم فتجتاحه) اهمها سرطانات الرئة وغيرها. وبالنظر الى غياب أي لقاح مضاد لـ HIV، تستعمل حالياً أدوية علاجية باهظة الثمن، تشتمل اساساً على مضادات البروتياز ومضاهئات النكليوزيدات واحياناً مضاهئات لانكليوزيدية. ولقد نجح مؤخراً فريق بحث فرنسي في ايجاد لقاح علاجي (أي يعالج الإصابة ولا يحول دون حدوثها). ويفيد هذا اللقاح العلاجي المرضى الذين عولجوا لفترة طويلة نسبياً بالأدوية العلاجية التقليدية [من أجل الاطلاع على تفاصيل أوفى، يمكن الرجوع الى: Lochouarn,M.,La Recherehe **363**,20(2003)].

78. Beckage, N.E., Scientific American, **November** (1997) 50-55.

لقد ترجمت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت في « مجلة العلوم » (الكويت)، المجلد **14** العدد **10**, أكتوبر (تشرين الأول) 1998, الصفحات 18-24

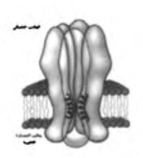


ولقد بلغ الدهاء ببعض الفيروسات في مراوغتها الجهاز المناعي أنها طوّرت ربيطات قادرة على الترابط بمستقبلات خلوية معينة (كما هي الحال فيHIV الذي يحمل على سطحه بروتيناً سكرياً هوgP140- يستطيع أن يترابط نوعياً بالواسمة CD4 الموجودة على سطوح اللمفاويات التائية المساعدة). وكان تضليل الجهاز المناعي من قبل الفيروسات أبعد مدى، عندما أدخلت هذه في بنية أغشية بعض خلايا الجسم ببتيداً من ببتيداتها كي لا تتعرف خلايا الجهاز المناعي (الخلايا التائية السامة للخلايا الغريبة) هذا الببتيد تعرفاً فورياً، لأنها ستحسبه من مادة الجسم نفسه (من الذات)، ما دامت فُطرت على ذلك عندما خضعت لعملية التربية في التوتة. ولكن هذ الببتيد الغريب يبقى غريباً (على الرغم من دخوله في بنية الذات)، ويحدث أن تتعرفه بين الفينة والأخرى تائيات معينة ذات ذاكرة تطورية حادة. إن هذا التعرف الغامض والمديد والبطيء، للببتيد الغريب ذي الأصل الفيروسي، يؤدي في النهاية إلى تعرفه على نحو واضح من قبل التائية السامة، فتباشر هذه اقتلاعه في محاولة منها للقضاء عليه. وتنشأ، نتيجة ذلك، أمراض وخيمة تعرف بأمراض المناعة الذاتية، حيث تعمل الخلايا المناعية (بسبب من التضليل الفيروسي) ضد الجسم نفسه. وهذا ما يحدث في مرض التصلب المتعدد multiple sclerosis، sclérose en plaques، حيث تهاجم التائيات سامة الخلايا غمد النخاعين للألياف العصبية بسبب احتوائه على الببتيد ذي الأصل الفيروسي. وقد يحدث هذا في عدد من أمراض المناعة الذاتية (إن لم يكن فيها كلها)، كداء السكري المنوط بالأنسولين، والذأَب الحُمامي، وغيرهما من أمراض المناعة الذاتية وخيمة العواقب.

4.3.8. التنسيق العصبي الهرموني المناعي

خطت القوى الطبيعية الأربع (وعن طريق القوى أو الروابط التكافؤية واللاتكافؤية، والانتقاء الطبيعي الموجه) بالتطور ذي المعنى خطوة أبعد، عندما أقامت تنسيقاً مدهشاً بين الجملة العصبية الهرمونية والجملة المناعية. ويظهر هذا التنسيق في أوضح صوره عندما يتعرض المرء لإحدى حالات الكرْب stress. ومع أن بروتينات الكرْب (بروتينات الصدمة الحرارية، يُرجع إلى الفقرة 8.2.3 وإلى الحاشية 8.5) تؤدي بالتأكيد دوراً ما في حالات الكرْب هذه، فإن هذا الدور الخلوي الجزيئي في التنسيق العصبي الهرموني المناعي ما زال غير واضح. هذا، وسنعرض فيما يلي إلى التنسيق الدقيق الذي يحدث بين الجملة العصبية والجملة الهرمونية في حـالة من حالات الكرْب الشديد الشائعة، ونعني بذلك ظاهرة «قاتل، أو سارع إلى الهرب» fight or flight (الكرّ أو الفر)، التي تحدث تلقائياً وغريزياً في كل مرة، يجابه المرء من سيقاتل معه حتى الموت (أو يجابه الثديي مفترسه). ثم نعمد بعد ذلك إلى إيضاح أفعال التنسيق بين الجمل الثلاث: العصبية والهرمونية والمناعية.

وكرد فعل غريزي لحالة الكرْب الشديد «قاتل، أو سارع إلى الهرب»، والتي تنطوي على تهديد للحياة، تحدث جملة أفعال فيزيولوجية سريعة التعاقب، تؤهب المرء لهذه المواجهة التي تتوقف عليها البُقيا، ومن ثم استمرار النوع. فمشاهدة العدو تنبه (عن طريق شبكية العين ومن ثم العصبان البصريان) مراكز عصبية في قاعدة الدماغ (وبخاصة الوطاء والنخامى). فتفرز هذه الهرمون المحرر للموجهة القشرية الذي يؤثر في غدة الكظر (التي تعلو الكُلوة)، فتحرر هذه هرمونات (الإبينفرين والنورإبينفرين على وجه التخصيص)، تعزز تركيز الانتباه واليقظة، وتهيء العضلات (عضلات الأطراف خاصة) للتقاتـل، أو للهـروب (الشـكل 8.33). وتتناول هذه السيرورات المحفـزة وسـريعة التعاقب الموضـع الأزرق في الدماغ، والجملة العصبية الودية، والمسـالك النخاعية الودية. فتتسـارع (نتيجة ذلك)،



تشريح جهازي الكرب والمناعة

الاستجابة الكربية

تصل الأعصابُ الدماغَ بالأعضاء وبالنسج كافة. وتعمل مواقف التحدي أو التهديد على استثارة الاستجابة الكربية للدماغ، التي تعمل بدورها على إطلاق هرمون ينبه تيقظا فيزيولوجيا وينظم الجهاز المناعي. والمكونات المفتاحية للاستجابة الكربية هي: الوطاء والموضع الأزرق في الدماغ والغدة النخامية والجملة العصبية الودية وغدة الكظر.

الاستجابة المناعية

يعمل الجهاز المناعي كشبكة لامركزية، يستجيب اليا لأي شيء، يغزو الجسم أو يعطله. وإن خلايا الجهاز المناعي، التي تتولد في نقي العظم والعقد اللمفية والطحال والتوتة، تستعمل بروتينات صغيرة من أجل اتصال بعضها ببعض. ويوسع هذه المراسيل الكيميائية أيضا أن تبعث إشارات إلى الدماغ عبر الدم أو المسالك العصبية، كالعصب المبهم والسبيل المفرد.

الوطاء
الغدة النخامية
الموضع الأزرق
نواة السبيل المفرد
جذع الدماغ
عقدة لمفية
التوتة
العصب المبهم
نقي العظم
الكبد
غدة الكظر
الطحال
الكلوة

الشكل 33.8 (الشرح في الصفحة التالية)



الشكل 8 . 33. ترسيم تشريحي لجهازي الكْرب والمناعة . «فعندما نواجه موقفاً فيه تهديد للحياة ، تسارع استجابة الكرب الدماغية إلى العمل لتعزز تركيز انتباهنا وخوفنا ويقظتنا الغريزية للاستجابة الفطرية ، المتمثلة بعبارة (التقاتل أو الهروب) أو (الكر أو الفر ، أو كما يقال بالإنكليزية fight or flight) . كما أن هذه الاستجابة الفطرية تكبت في الوقت نفسه الرغبة في الطعام والجنس والنوم . إن البنى الأساسية للاستجابة الكربية هي : الوطاء، والموضع الأزرق في الدماغ ، والغدة النخامية (في قاعدة الدماغ)، والجملة العصبية الودية، وغدة الكظر . أما الجهاز المناعي ، فيتمثل بشبكة لا مركزية تستجيب آلياً لأي شيء يغزو الجسم . إن خلايا الجهاز المناعي ، التي تتولد في نقي العظم ، وتتمايز في التوتة والعقد اللمفية والطحال ، تستعمل بروتينات ذات كتل نسبية منخفضة نسبياً هي السيتوكينات أو الإنترلوكينات (يفوق عددها العشرين) ، فتتأثر بها هذه الخلايا ، وتبنى (نتيجة هذا التأثير) استجابات خلوية تفيد الخلايا أو تأذيها . وبوسع هذه الرسل الكيميائية أن تبعث بإشارات إلى الدماغ عبر الدم أو المسالك العصبية ، كالعصب المبهم أو السبيل المفرد » [عن Sternberg, E. M. and Gold, Ph. W., Scientific America, **February / March** 8-15 (1999) (المرجع 79) . لقد تُرجمت هذه المقالة إلى العربية ، ونشرت في « مجلة العلوم » (الكويت) ، فبراير (شباط) المجلد **15** ، العددان **2** و **3** ، 4 - 11 (1999) ص . 5] .

ضربات القلب، وحركتا الشهيق والزفير التنفسيتان. وعلى النقيض من ذلك، فإن هذه السيرورات التنبيهية تكبت الشعور بالجوع، والرغبة في تناول الطعام، أو الإحساس بالنعاس، أو النزوع إلى الجنس. ومع أن حالة الكْرب الشديد ذات المنشأ الغريزي (بمعنى أنها ذاتية وموروثة تطورياً)، تتناول بسيروراتها الجهاز المناعي، فإن هذا الجهاز لا يشارك وظيفياً إلا إذا استمرت حالة الكْرب زمناً، يكفي لاستثارة خلايا هذا الجهاز عن طريق غدة الكظر واللوزتين والتوتة.

تؤدي هذه المجابهة إذاً (عن طريق تفعيل محور الوطاء والنُخامى والكَظَر) إلى توسع الحدقة لـرؤية العدو بصورة واضحة. وتتقلص عضلات الأطراف، ويتوارد الدم إليها بغزارة للانقضاض أو للهرب. ويزاد عدد ضربات القلب، ومعدل التنفس (تواتر حركات الشهيق والزفير) لتأمين الكمية اللازمة من الأكسجين، لتوليد ما يكفي من الطاقة. وينشط الكبد، كي يفرز كمية كافية من هرمون الغلوكاغون glucagon، الذي ينشّط في الكبد والعضلات تحلل الغليكوجين إلى غلوكوز، تحتاجه هذه العضلات. وعلى العكس من ذلك، يتناقص ورود الدم إلى الجلد، والجهازين الهضمي والبولي، كي تذهب أكبر كمية من الدم إلى عضلات الأطراف. ويشحب لون الجلد، ويتباطأ الهضم، وتسترخي عضلات المثانة، ومصرة الشرج، وقد يحدث أن ينفرغ البول تلقائياً من شدة الخوف.

إن هذا التنسيق الدقيق بين الجملتين العصبية والهرمونية أولاً، ثم المناعية (في حال استمرار الكْرب [79] ما هو إلا ضرورة اقتضاها التطور الموجه بغية الوصول إلى حياة ذكية. وكما عرضنا غير مرة، فإن هذه السيرورات تنجم عن تفاعلات كيميائية عكوسة، قوامها الربيطات (وبخاصة الهرمونات) ومستقبلاتها (أي التعرف الجزيئي). إن طبيعة هذه الجزيئات (الربيطات والمستقبلات) هي وليدة القوى الأربع للطبيعة (المسؤولة عن الانتقاء الطبيعي الموجه) التي وجهت التطور بهذا الاتجاه الحتمي كي يغدو الإنسان خليفة الله في الأرض.

وكما أشرنا منذ قليل، فإن استمرار حالة الكْرب تستثير الجهاز المناعي. ويتم ذلك عن طريق محور الوطاء، والنخامى، والكظر، نفسه. ولقد لوحظ منذ زمن طويل أن الإكتئاب المزمن يورّث السقام، والاعتلال*. بسبب ما يصيب الجهاز المناعي من كبت. كما أن فاعلية الخلايا المناعية تهبط إلى مستوى متدن لدى الطلاب قُبيل الامتحان، وفي أثنائه. وتحدث

79. Sternberg, E.S. and Gold, P. W., Scientific American, **February / March** (1999) 8 – 15 .

لقد ترجمت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت في العدد الخاص لـ « مجلة العلوم » (الكويت)، الموسوم بالعنوان « خفايا العقل »، المجلد **15** العددان 2/ 3 فبراير (شباط) مارس (آذار) 1999.

* وقديماً قال أبو الطيب المتنبي (تعبيراً عن معرفة شائعة) في قصيدته التي هجا بها « إسحاق بن إبراهيم الأعور بن كيغْلغ » (أحد وجهاء مدينة طرابلس الشام، وكان جاهلاً) عام 900 ميلادية، قال: « والهمُّ يَخترمُ الجسيـمَ نَحـافةً ويُشـيب ناصيةَ الصبيِّ ويُهرمُ »
«ذو العقلِ يَشقى في النَعيم بعقلِهِ وَأخوُ الجَهالَةِ في الشَّقَاوةِ يَنْعَمُ»

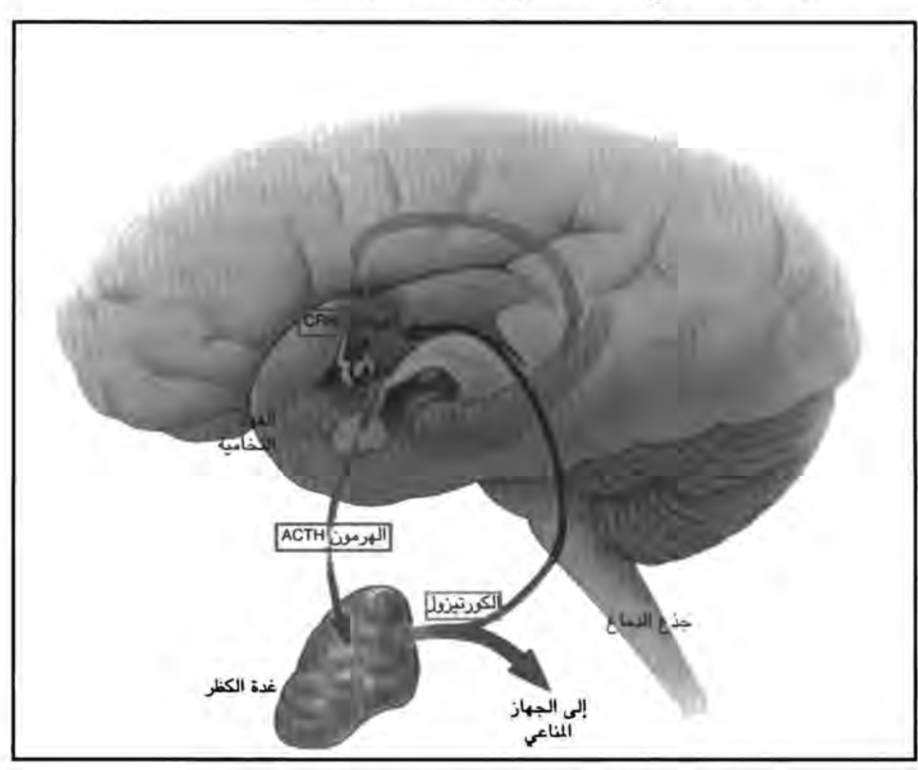


مشاركة الجهاز المناعي في التنسيق العصبي الهرموني المناعي بوساطة مجموعة من البروتينات ذات الوزن الجزيئي، أو الكتل الجزيئية النسبية المنخفضة، والتي تعرف بالسيتوكينات، وتفرزها الخلايا المناعية[(10.8)]. ولقد سبق أن أشرنا إلى هذه الببتيدات (يُرجع إلى بداية هذه الفقرة) كمنبهات لخلايا الجهاز المناعي.

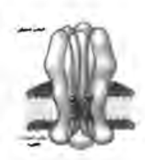
4.8. نشوء الخباثة (التسرطن)

يُعدّ السرطان، واعتلال القلب، والسكتة الدماغية من الناحية التاريخية أشد الأمراض اللامعدية (اللاخمجية) فتكاً بالنوع البشري. ومنذ أواسط الثمانينات، تصدرت متلازمة عوز المناعة المكتسب (الإيدز، السيدا) من الأمراض المعدية القائمة (لقد قدر في شهر آيار من العام 1999عدد المصابين بهذا المرض في العالم بنحو 35 مليون إنسان، 90 في المئة منهم

(10.8) يصعب الخوض في تفصيلات التنسيق العصبي الهرموني المناعي، الذي يحدث على وجه التخصيص في حالات الكْرب. وبوسع القارئ الرجوع إلى المرجع 79 (الذي ترجم إلى العربية) للوقوف على تفصيلات موسعة وحديثة حول جوانب هذا التنسيق. ولقد اقتبسنا من هذه المقالة الشكل 8 . 33 الذي ورد في النص، كما نقتبس الشكلين 8 . 34 و 8 . 35 لإيضاح العلاقات بين الجمل الثلاث (العصبية والهرمونية والمناعية) والتي تُحدث التنسيق المشار إليه. (تابع الحاشية 10.8في الصفحة 331). ←

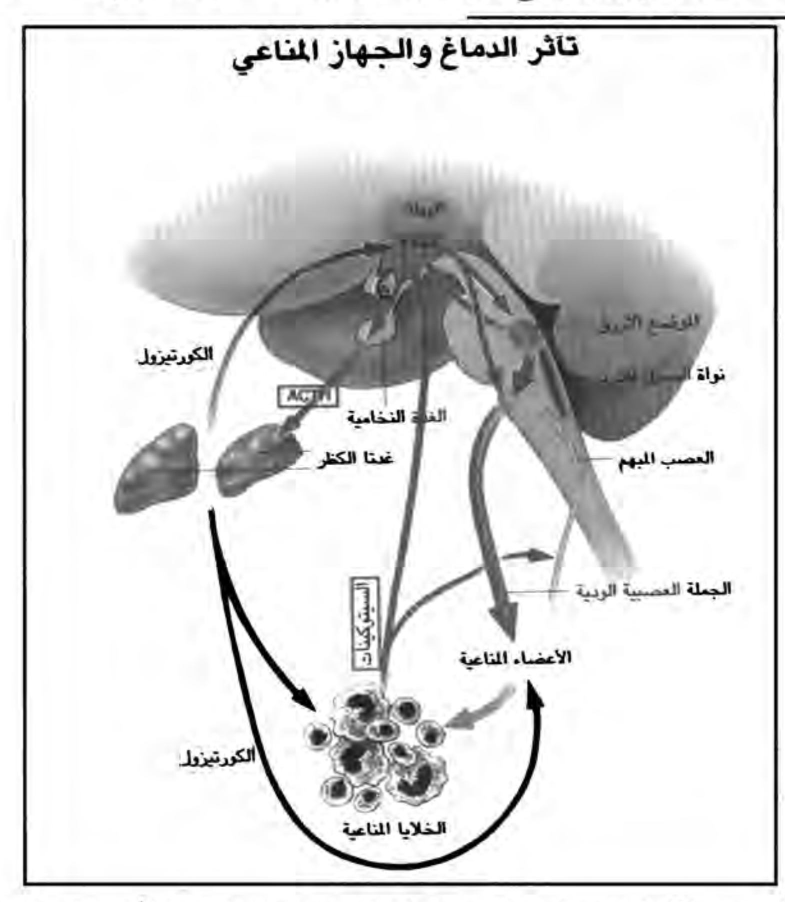


الشكل 8 .34. مخطط ترسيمي لمحور الوطاء ـ النخامة ـ الكظرـ(hypothalamus - pituitary-adrenal , HPA) الذي « يُعَدُّ مكوناً مركزياً لاستجابة الدماغ الهرمونية العصبية للكُرب. فعندما يُنبَّه الوطاء، يفرز الهرمون المحرر للموجهة القشرية (corticotropin- releasing (CRH)hormone)) في الجملة البابية النخامية، التي تزود النخامَة الأمامية بالدم. وعندئذ ينبه الهرمون CRH النخامة (تبين الأسهم الحمر السبل التنبيهية) لتفرز في الدم الهرمون الموجه لقشر الكظر (adrenocorticotropic hormone ، ACTH) . يدفع هذا الهرمون عندئذ غدة الكظر لتحرر الكورتيزول، الهرمون المتعارف للكْرب والذي يستثير الجسم ليواجه موقف التحدي. بيد أن الكورتيزول يعدل آنئذ الاستجابة الكربية (تشير الأسهم الزرق إلى التأثيرات المثبطة) بتأثيره في الوطاء، ليثبط التحرير المستمر للهرمون CRH. ولكونه أيضاً منظماً مناعياً قوياً فإن الكورتيزول يعمل على أجزاء من الجهاز المناعي كي يمنعها منَ أن تفرط في فاعليتـــها، فلا تلحـــق الأذية بالخلايا والنســـج الصحيحة » (عن المرجعين الواردين في نهاية شرح الشكل السابق ـ 8 .33 ـ، ص. 7) .



في البلدان النامية) [80] وتوفي في عام 1996 في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها 000 555 شخص بالسرطان. ويقدر أن 40 في المئة من الأمريكيين يصابون في النهاية بهذا المرض، ويتوفى خمس هؤلاء عادة. وتعكس هذه الأرقام الواقع أيضاً في معظم الدول المتقدمة. وتقدر منظمة الصحة العالمية أن السرطان، يقتل سنوياً قرابة ستة ملايين إنسان في العالم. كما وتفشى مؤخراً التهاب الكبد من النمط C، ويُحصى حالياً أكثر من 170 مليون إصابة بهذا المرض في العالم، عدد كبير منها تنتهي إلى الموت نتيجة تسرطن الكبد. ويقدر بأن ربع سكان مصر تقريباً مصاب بالتهاب الكبد من النمط C بسبب سوء استعمال حُقن في العضل ضد الإصابة بالبلهارسيا [81].

إن الأسباب الظاهرية للإصابة بالسرطان عديدة. فمنها ما هو كيميائي، بدءاً بالهدروكربونيات العطرية عديدة الحلقات (البنزوبيرين والأمينوانتراسين)، التي تنجم عن احتراق المواد العضوية (وتنطلق مع دخان السكائر، ومن عوادم السيارات) إلى الزيوت المعدنية، مروراً بالزرنيخ، والأصبغة، ومبيدات الحشرات، ومواد الدهان، والسخام. ومنها ما

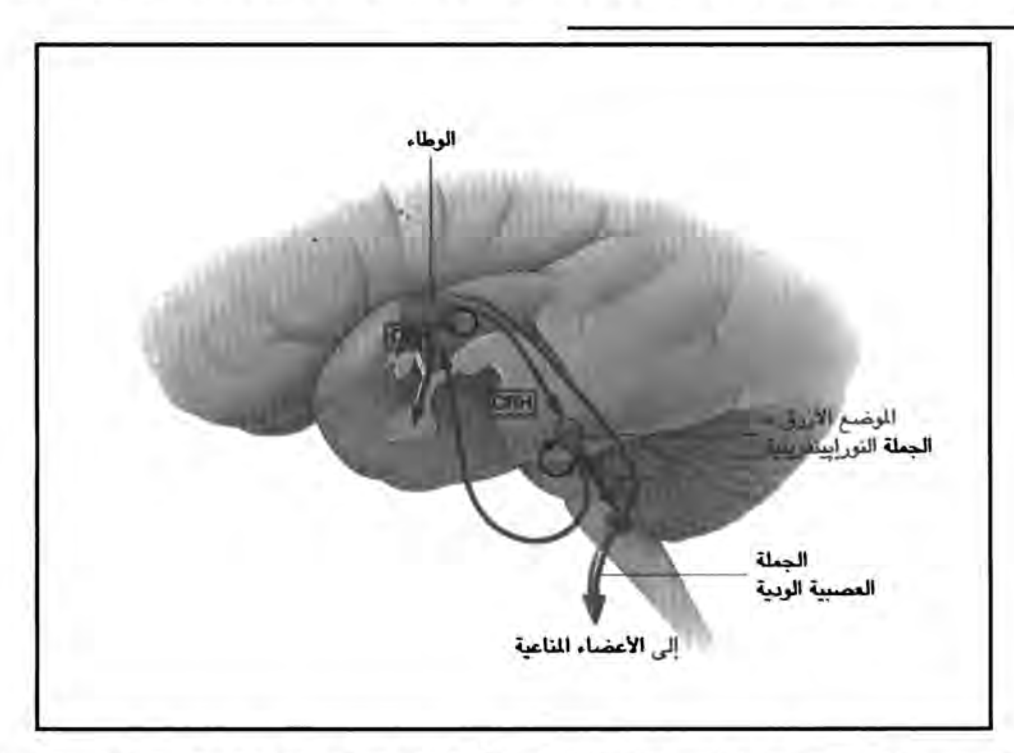


الشكل 8 . 35 ـ أ . مخطط ترسيمي لتآثر الدماغ والجهاز المناعي . « يمكن للدماغ والجهاز المناعي (الأسهم الحمر) إما أن يُنبه أو يثبط أحدهما الآخر (الأسهم الزرق) . فخلايا الجهاز المناعي تنتج السيتوكينات (إشارات كيميائية) التي تنبه الوطاء عبر الدورة الدموية (الدوران) أو الأعصاب المنتشرة في أنحاء الجسم . وينشط الهرمون CRH (الذي ينتجه الوطاء) المحور HPA . ويعمَل تحرير الكورتيزول على إخماد الجهاز المناعي . وبتأثيره في جذع الدماغ ، فإن الهرمون CRH ينبه الجملة العصَبية الودية التي تستثير الأعضاء المناعية . وينظم هذا الهرمون الاستجابات الالتهابية في أنحاء الجسم كافة . ويؤدي تعطل هذه الاتصالات (بأي طريقة من الطرق) إلى استعداد أكبر للإصابة بالأمراض وإلى مضاعفات مناعية »(عن المرجعين الواردين في نهاية شرح الشكل 8 . 33، ص . 8) .

80. Balter, M., Science **284**, 1101(1999).
81. Cohen , J., La Recherche **325** , 68-74 (1999).



هو فيزيائي، كأنواع الإشعاع، بدءاً بالعناصر المشعة، إلى أشعة الشمس فوق البنفسجية، مروراً بالأشعة السينية المستعملة في التصوير الشعاعي، والأشعة الصادرة عن شاشات أجهزة التلفزيون. ومنها ما هو غذائي، كوجبات الطعام الدسمة الشائعة في أنظمة غذائية معينة. ومنها ما هو بيولوجي، كالإصابة بأمراض معدية معينة ذات منشأ بكتيري (حيث يضعف



الشكل 8 .35 ـ ب . مخطط ترسيمي لفعل الهرمون CRH والموضع الأزرق والجملة العصبية الودية . « يحدث الهرمون الوطائي CRH تغييرات مهمة في تلاؤم الكرب والالتهاب بطرق تختلف عن تحريض تحرير الكورتيزول من غدة الكظر . وتمتد السبل الصادرة عن العصبونات المفرزة للهرمون CRH في الوطاء إلى الموضع الأزرق في جذع الدماغ . وتؤثر سبل مستقلة لعصبونات وطائية أخرى (متجهة إلى جذع الدماغ) في فاعليات الجملة العصبية الودية التي تعدل الاستجابات الالتهابية . كما أنها تنظم الفاعليات الاستقّلابية والقلبية الوعائية . ويُحدث تنبيه الموضع الأزرق بوساطة الهرمون CRH سلوكاً صائناً ، كالتيقظ والخوف (يشير اللون الأحمر إلى التنبيه والأزرق إلى التثبيط) . ويزود الموضع الأزرق بدوره الوطاء بتلقيم راجع ، ليستمر في إنتاج الهرمونCRH ، ويؤثر أيضاً في الجملة العصبية الودية . إن التلقيم الراجع ذاتي التثبيط، يُبقي على فعالياتَ الهرمون CRH والموضع الأزرق تحت السيطرة » (عن المرجعين الواردين في نهاية شرح الشكل 8 .33 ، ص . 9) .

←هذا، ويمكن تلخيص السيرورات المؤدية إلى هذا التنسيق على النحو التالي :

إن البنى التي يشملها هذا التنسيق هي : الوطاء، والنُخامى، والموضع الأزرق (في قاعدة الدماغ)، ونواة السبيل المفرد (في جذع الدماغ)، والجملة العصبية الودية، والنخامية الودية (من الجملة العصبية المحيطية). ويشارك من الجملة الهرمونية الوطاء والنُخامى والكظر والتوتة واللوزتان والطحال والكُلوة وخلايا الجهاز المناعي. ويتمثل الجهاز المناعي بالتوتة ونقي العظم واللوزتين والطحال والعقد اللمفية. أما في ما يتعلق بالهرمونات التي تؤدي الدور الأساسي في هذه السيرورات بسبب وجودها طليقة في الدم، وترابطها بمستقبلاتها النوعية (التعرف الجزيئي)، وتفعيلها البروتينات G، التي تعمل على تركيب كمية معينة من أحادي فسفات الأدينوزين الحلقي (cAMP) بتفعيل سيكلاز الأدينيل، إن هذه الهرمونات، تسبب (في النهاية) تفعيل كيناز البروتين من النمط A (PKA)، أو تفعيل أنزيم الفسفوليباز C (يُرجع إلى الحاشية 8 .4). إن الهرمونات الرئيسة التي تؤدي الدور الأساسي في عملية التنسيق العصبي الهرموني المناعي في حالات الكرب هي : الهرمون المحرر للموجهة القشرية (CRH)، والهرمون الموجه لقشرة الكظر (ACTH)، ويتم إفراز هذين الهرمونين من قبل بنى قاعدة الدماغ (الوطاء والفص الأمامي من النُخامى على وجه التخصيص)، وهرمون الإيبنفرين والنورإيبنفرين والكورتيزول من الكظر (ويُعدُّ الكورتيزول منبهاً مناعياً قوياً)، وأخيراً السيتوكينات التي تفرزها خلايا الجهاز المناعي (منها ما هو منشط للأفعال المناعية ولبنى مناعية معينة، ومنها ما هو مثبط لها).



الجهاز المناعي)، أو ذات منشأ فيروسي (كالفيروس الحليمي البشري المسؤول عن ســرطان عنق الرحم، وفيروس التهاب الكبد الإنتاني من النمطين B و C ذي العلاقة بســرطان الكبد كما ســبق أن ذكرنا، وفيروســي عوز المناعة البشري HIV-I و II، الذي يوهن الجهاز المناعي، مؤهباً الجسم ليغدو فريسة خباثات وأمراض إنتانية انتهازية كثيرة).

ومع أن جسم الإنسان يتألف من قرابة 800 نوع من أنواع النسج (النسيج هو مجموعة الخلايا التي لها بنية ووظيفة واحدة)، منها: العصبي، والدموي، والعضلي، والعظمي، والغضروفي، والضام، والظهاري، وما يتفرع منها، فإن عدد أنواع السرطانات التي تصيب الإنسان يزيد قليلاً على المئة فقط (يعتقد البعض أن عدد أنماط خلايا جسم الإنسان يزيد على 40 ألف نمط). فهنالك مثلاً عشرات أنواع السرطان التي تصيب الخلايا الدموية، والبيض منها على وجه التخصيص. وكما هو معروف، فإن معظم أنواع السرطان (أكثر من 80 في المئة) تصيب خلايا الظهارة للأعضاء المختلفة. ولكن مما يدعو إلى الارتياح من الناحيتين العلمية، والنفسية أن هذه الأنواع الكثيرة من السرطان تنشأ وفقاً لآلية واحدة، تتأتى من سيرورات، غدا معظمها معروفاً بدقة. وربما تدفع هذه المعرفة إلى التفاؤل في أن الإنسان (الذي أصبح بمقدروره أن يشخص حالياً تشخيصاً مبكراً الإصابة بالسرطان)، سيتوصل يوماً ما إلى الحيلولة دون الإصابة المبكرة بهذا المرض، وإلى إيجاد علاج أكثرَ إنسانيةً من الاستئصال، أو المعالجة الكيميائية، أو المداواة بالأشعة. وتتمثل الآلية المسؤولة عن نشوء الخباثة بخلل يطرأ على بنية، أو وظيفة، عدد من الجينات الموجودة في صبغيات نوى خلايانا.

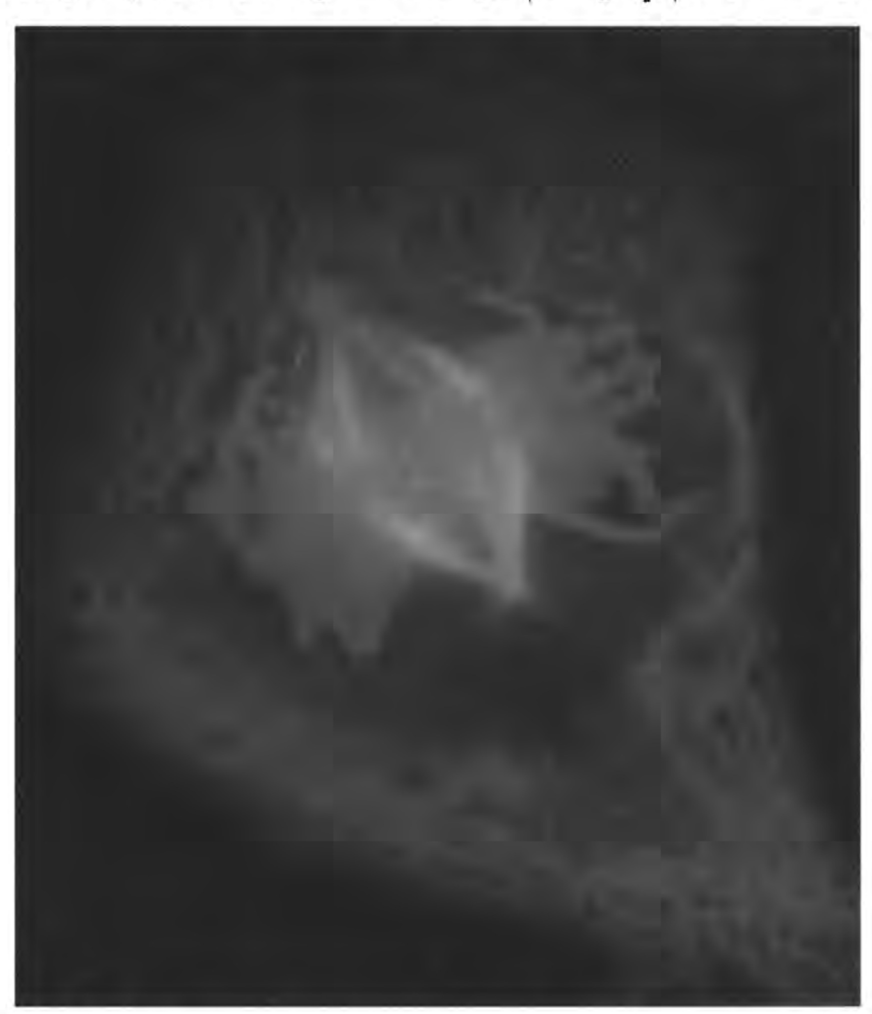
وكما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الفقرة 7. 6)، فإن جسم الإنسان يتألف من ستين ألف مليار (أي 6×10^{13}) خلية. وتحوي كل خلية من هذه الخلايا (ما عدا الكريات الحمر التي تجول الجسم عبر الدوران الدموي) مجموعتين من الصبغيات المتماثلة، تتألف كل مجموعة منها من 22 صبغياً جسدياً، وصبغياً واحداً جنسياً (ذا علاقة بتعيين الجنس، ذكر أو أنثى). ولقد أتت إحدى المجموعتين من الأب، والأخرى من الأم. ولكل صبغي في المجموعة قرينه، أومثيله، في المجموعة الأخرى. ولقد أُعطيت هذه الصبغيات وفقاً لأطوالها أرقاماً من 1 حتى 22 من الأطول إلى الأقصر. في حين أُعطي الصبغيان الجنسيان الرمزين X و Y (يُرجع إلى الشكل 7. 14). وتعد هذه المماثلة -أي إن لكل صبغي من الذكر (الأب) مثيله من الأنثى (الأم)- أساس التوالد الجنسي، والتنوع الفردي. فلولاها لما حدث تخالط الجينات (كما يخلط اللاعب ورق اللعب) في أثناء تكون أعراس الأبوين، ولما أتى الفرد الواحد (الأخ أو الأخت) مختلفاً -نتيجة هذا التخالط، وبسبب وراثة ما فوق الوراثة- في صفاته الجسدية، وحتى في قابلياته العقلية، عن بقية إخوته وأخواته. ويبلغ عدد جيناتنا 30 ألف جين تقريباً، موزعة على نحو غير متساو على الصبغيات الثلاثة والعشرين. وكما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الفقرة 8. 2)، فإن خلايا جسمنا كلها (مئة ألف مليار خلية)، تحدرت من خلية واحدة، متفردة البنية والوظيفة، هي البيضة المخصبة، التي نشأت عن اندماج نطفة الأب (والنواة منها على وجه التخصيص) بالخلية البيضية للأم (يُرجع أيضاً إلى الفقرة 7. 6).

ويمكن «تشبيه» البيضة المُخصَبة بالركام الكمومي الذي حدث فيه الانفجار الأعظم، و«تشبيه» تكون الفرد بنشوء الكون. **وكما أن الركام الكمومي كان كلي الإمكان، واحتوى على القوى الطبيعية الأربع، متوحدة في قوة متفردة واحدة لا وظيفية (إنما كلية الإمكان أيضاً)، وكما أن هذا الركام الكمومي، وهذه القوة المتفردة أعطيا (بسيرورات تجزء، وتخصص مبرمجة وفقاً لمخطط لامكان للمصادفة فيه) القوى الطبيعية الأربع، والكون بحشود مجراته، وبنجوم هذه المجرات وكواكبها. كذلك هي الحال في البيضة المُخصَبة: إنها كلية الإمكان، متفردة من حيث البنية والوظيفة، تحتوي على مخطط تكون الفرد (يرجع**



إلى الحاشية 8.3) . وستتجزأ هذه البيضة، وتتخصص أجزاؤها بسيرورات مبرمجة لا مكان للمصادفة فيها، لتعطي جسم الفرد الذي يتألف من أجهزة، لكلٍ منها أعضاؤه، ولكل عضو نسجه، ولكل نسيج خلاياه الخاصة به. لقد أوردنا هذا التشبيه لتأكيد وحدة المخطط، ومنطقية المصير المبرمج لتطور ذي معنى من الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأخفض إلى الأرفع أداءً وكفاية. وربما يبدو هذا التشبيه أكثر قرباً من الواقع إذا تذكرنا أن القوى الأربع وقوانين الطبيعة (إرادة الله) استولدت المادة من الطاقة، وأعطت بعد تكوينها العناصر والمركبات (والعضوية منها على وجه التخصيص) القوى أو الروابط اللاتكافؤية (أدوات الانتقاء الطبيعي الموجه)، التي أسهمت (مع الماء، والكربون، والفسفات) في نشوء الحياة الذكية، متمثلة في الإنسان خليفة الله في الأرض. إن ما يهمنا، في سياق الحديث عن نشوء السرطان، هو هذا التجزؤ والتخصص اللذان يشكلان أساس تكون الفرد.

فالبيضة المُخصَبة تتجزأ إلى خلايا أصغر بسيرورة تعرف بالانقسام الخلوي الخيطي (أو الفتيلي) mitosis، mitose (الشكل 8.36). وتحافظ الخلية الأم في كل انقسام على العدد نفسه من الصبغيات (وعموماً من الجينات) في الخليتين



الشكل 8.36. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلية من رئة السلمندر (أحد الضفادع المذنبة) في الطور التالي من الانقسام الفتيلي. تبدو الصبغيات باللون الأزرق، وأنيبيات المغزل بالأخضر، ولييفات الكيراتين البروتينية بالأحمر [عن Nurse, P., Cell, **100**, 71 (2000)، من La Recherche **329**, 13 (2000)].



الابنتين (كما تحافظ ماكِنة «تورينغ» Turing، ويحافظ حاسوب «فون نومان» von Neumann (1903-1967) على الطراز الأصل داخل الماكِنة، أو البرنامج الأم داخل الحاسوب، أي إن الماكِنة تتوالد والحاسوب يتنسَّخ). ويُحكى أن «رينيه ديكارت» (1596-1650) René Descartes كان يشرح لملكة السويد «كريستينا» أن جسم الإنسان مجرد آلة تلقائية (ذاتية) الحركة Automaton. فأومت جلالتها إلى الساعة، قائلةً: «تدبر أمرها في أن تنجب». وتجدر الإشارة إلى أن «فون نومان» اكتشـف وجـود سـيرورات التنسخ (التكرر)، والانتساخ، والترجمة، قبل عشرين عاماً تقريباً من تعرف البيولوجيين هذه السيرورات في الخلية تجريبياً. [انظر: Sipper, M . and Emmite, D., Scientific American, **August** (2001) 34-35]. وعندما يتشكل عدد كاف من الخلايا في الجنين، تأخذ هذه بالتباين فيما بينها بسيرورة التعبير الجيني التفاضلي (يُرجع إلى الفقرة 7.6 وإلى الحاشيتين 7.11 ,7.12، يُرجع أيضاً إلى الفقرة 8.2.2). فلئن أدى هذا التجزؤ وهذا التخصص (تكون الجنين) إلى تشكل فرد له خصائص النوع الذي ينتسب إليه، ذلك لأنه تم كتنفيذ مبرمج بدقة متناهية لمخطط، سبق أن حدد هو الآخر بدقة متناهية. فكل خلية من هذا الكم الهائل «تَعرفُ» سلفاً المكان الذي ستتوضع فيه، و «تدرك» مسبقاً الوظيفة التي ستناط بها. وكما أن سيرورات تكون الكون كانت فريدة في تاريخ هذا التكون (حدوث الانفجار الأعظم، وولادة القوى الطبيعية الأربع والقوى التكافؤية واللاتكافؤية، وقوانين الطبيعة كافة)، كذلك هي الحال في سيرورات تكون الفرد: إنها فريدة في المكان والزمن، ولن يمر الفرد طوال مدة حياته بمثلها ثانية. ويمكن القول عموماً، إن نشوء الخباثة (التسرطن) إنما يرجع إلى خلل يتناول سيرورات الانقسام الخلوي، أو التخصص الخلوي.

يمكن تعريف التسرطن إذاً بأنه الحادثات، التي تتم داخل خلية هاجعة (غير متخصصة بوظيفة ما)، أو داخل خلية متمايزة (تخصصت بوظيفة محددة، وبخاصة الخلايا الظهارية)، فتعيدها هذه الحادثات إلى حالة تشبه فيها الخلية الجنينية، حيث تفقد وظيفتها، وتبدأ بالانقسام انقساماً عشوائياً، أو غير مبرمج. كما يمكن القول: إن الخلية « تنزع » دائماً إلى الانقسام، و«تستمتع» بحدوثه. وإن كانت تكف عنه، فلئن ما تركبه من بروتينات الوظيفة (لصالح الجسم ككل)، تقسرها على التوقف عن هذا الانقسام [(11.8)]. فالتشكل الجنيني (أي التجزؤ - الانقسام -، والتخصص المبرمجان) يعاكس تماماً التسرطن (استفاقة الخلايا الهاجعة على نحو غير سوي، لتنقسم على نحو دائم و غير مبرمج، أو عودة الخلايا المتخصصة عن تمايزها، أو تخليها عن وظيفتها، كي تنقسم على نحو مستمر). وفي حين أن للخلايا الوظيفية (أي للفرد) أجلاً محدوداً، فإن الخلايا السرطانية، وبسبب انقسامها الذي يجددها باستمرار، تتصف زمنياً بالخلود (أي لا تموت إذا ما توافرت لها الشروط المواتية)، فلا عجب أن «تهوى» الانقسام، و«تستمتع» به.

(8.11) الخلية «تهوى» الانقسام وتستمتع به لأنه يبقيها فتية، بل ويخلدها في الزمن (أي يبقيها حية دونما أجل). والخلية «تكره» التمايز (أو التخصص) لأنه يقسرها على القيام بعمل معين (نقل عصبي، أو تقلص عضلي، أو دفاع مناعي...) من جهة، ويحدد عمرها من جهة ثانية. فالخلية المتمايزة (كالجسم الذي توجد فيه) مائتة لا محالة، عاجلاً أو آجلاً. والخلية تحوي جينات «أنانية» النزوع، تجهد دائماً في دفع الخلية إلى الانقسام، لتضمن بُقياها واستمرارها وانتشارها. وكما كنا عرضنا في ما سبق (يُرجع إلى الفقرة 8.2)، فإن البيضة المُخصَبة، لا تدخر وسعاً في ارتشاف لذة الانقسام، فتنقسم بسرعة مذهلة. ويمكن للخلية أن تنقسم ما بين 45 و 50 مرة (أي إن الخلية الواحدة تتوالد إلى 2^{45} خلية، أي بما يعادل في الإنسان 10^{14} خلية تقريباً)، قبل أن يصيبها الوهن، وتبلى جزيئاتها، وتتكسر صبغياتها، لتلقى أخيراً حتفها. ومع أن التمايز لا يتم عادة قبل أن يسبقه الانقسام، فإن السيرورتين متعاكستان. وعلى الرغم من أنه تموت في جسمنا وفي الدقيقة الواحدة ملايين الخلايا، فإن عدد خلايا جسمنا ←



كما سبق أن أشرنا، فإن عدد الجينات (النمط الجيني) المسؤولة عن بنى جسمنا ووظائفه (النمط الظاهري) يبلغ قرابة 30 ألف جين. إن هذه الجينات ترمّز (كنمط جيني) البروتينات التي تحدد (كنمط ظاهري) بنية كل خلية من خلايا جسمنا، وكذلك وظيفتها. ولكنّ هنالك عدداً محدوداً من هذه الجينات له علاقة بنشوء السرطان، ولا يتجاوز هذا العدد العشرات. إن معظم هذه الجينات المؤهِّبة لحدوث السرطان، يعرف بالجينات الورمية البدئية(12.8) proto- oncogenes، proto-oncogènes، وتُعدُّ مسؤولة بصورة أساسية عن نظامية الانقسام والتمايز الخلويين[82]. وإذا كانت الخلية (وأصلاً البيضة المُخصَبة)، تنقسم عدداً محدداً تماماً من الانقسامات، فلئن المستقبلات الموجودة على سطحها (يُرجع إلى الفقرتين 8.2.1 و8.2.2)، تتلقى إشارات (معلومات موضعية) من الخلايا المجاورة لها، ومن الوسط المحيط بها. إن هذه المستقبلات (كلواقط الإرسال التلفزيوني) تلتقط الإشارات الواردة إليها (يُرجع إلى الحاشية 8.4)، وتسلمها إلى جزيئات موجودة تحت سطح الغشاء الخلوي، لتقوم هذه بتسليمها إلى جزيئات أخرى أكثر عمقاً داخل الخلية، وأقرب إلى نواتها (تماماً كما يحدث في الكتيبة الدلوية التي تطفئ الحريق، حيث يُنقل دلو الماء من يد إلى أخرى عبر سلسلة أفراد الكتيبة). وتنتهي الإشارة إلى جينات معينة، فتعمل هذه (عبر عوامل الانتساخ، يُرجع إلى الفقرة 7.6 والحاشية 7.12) على تباطؤ الانقسام ومن ثم توقفه، وعلى تركيب بروتينات التمايز (البروتينات التي تمنح الخلية وظيفة محددة).

← يبقى ثابتاً تقريبا. ومع أنه يستحيل على الخلية المتمايزة أن تعود عن تمايزها (أي تعمل على تقويض بروتينات التمايز الوظيفية، وتصبح مماثلة للخلية الجنينية اللاوظيفية) إلا في حالة التسرطن، أو حالة التجدد (يمكن عند استئصال جزء من الكبد، أن يجدد القسمُ المتبقي الجزءَ المستأصل)، فإن عدد خلايا الجسم يبقى ثابتاً بفضل خلايا هاجعة غير متمايزة، توجد في كل نسيج (بما في ذلك الدماغ، يُرجع إلى الفقرة 8.1.4 والشكل 8.5 وإلى المرجع 65)، تنقسم في لحظات محددة انقسامات مبرمجة وسوية، لتعوض عن الخلايا الميتة. إن تعارض سيرورتي الانقسام والتمايز، يتضح أيضاً على المستوى الجزيئي. فالانقسام (كما سنرى في الحاشية التالية) يتطلب تفعيل الجزيئات الخلوية (كي يتضاعف DNA، ADN، والجزيئات والبنى الأساسية الأخرى، وكي تتشكل ألياف مغزل الانقسام، وتهاجر الصبغيات إلى قطبي الخلية. . .)، وهذا ما تقوم به أنزيمات كينازية خاصة (ومثالها الجينات من فصيلة myc)، تفعل الجزيئات البيولوجية بربط زمرة الفسفات بها. ففي الانقسام، تلاحظ فاعلية كينازية رفيعة. أما في التمايز، فتضعف عموماً فاعلية الكينازات، وتزداد فاعلية الفسفتازات، التي تنزع زمرة الفسفات (ومثالها الجينات من فصيلة max).

(12.8) لقد أدخلت أعراسُنا الذكرية والأنثوية (في أثناء حياة النوع البشري) جينات ذات أصل فيروسي، فأصبحت هذه الجينات جزءاً لا يتجزأ من ذخيرتنا الوراثية. أضف إلى ذلك، أن جيناتنا أفادت من وجود هذه الجينات الفيروسية الأصل في تنظيم وظائفها، فأضحت هذه الجينات فيروسية المنشأ مسؤولة عن بُقيانا، ومن ثم الحفاظ على استمرار النوع. ولقد أُطلق على هذه الجينات اسم الجينات الورمية البدئية، وتعرّف بانها من الجينات الموجودة في صبغيات الخلايا حقيقيات النوى والقادرة على أن تتحول إلى جينات ورمية. وللجينات الورمية البدئية وظائف ذات أهمية قصوى لـلاستـقـلاب الخلـوي السـوي. ولكن إذا ما أصابت طفرةٌ تسلسلها المُرمِّز (المُكوِّد)، أو عناصرها التنظيمية (كالمحضض، أو المعزز)، أو غُرز فيها (من غَرْز inserion) تسلسل من DNA، ADN فيروسي يعمل كعنصر لضبط الانتساخ، فإن الجين الورمي البدئي يفقد وظيفته التَنظيمية السوية، وينقلب إلى جين قادر على الاسهام في حدوث الخباثة. ويمكن تصنيف هذه الجينات الورمية البدئية في مجموعتين رئيستين: جينات التنبيه، وجينات الكبت (يُرجع إلى النص في هذه الفقرة). إن فقدان السيطرة على المجموعة الأولى (بسبب حدوث طفرة، أو إزفاء -انتقال-، أو غرز)، يسبب فرط تنبيه المستقبلات (سبيل cAMP، وسبيل البروتيناتG، وسبيل الفسفوزلييباز C، يُرجع إلى الحاشية 8.4)، فتحاول الخلية الخروج من هجوعها، والدخول في سيرورات انقسامية غير مبرمجة (حالات ورم الدبق العصبي - أورام الدماغ -، وأورام الجملة العصبية عامة)، أو التخلص من بروتيناتها الوظيفية (معظم حالات السرطان الأخرى، كأورام النسيج الظهاري-القولون والرئة والبنكرياس وعنق الرحم والثدي. . .-، والملانوم أو سرطان الجلد الناجم عن التعرض للأشعة، وسرطان المبيض ←

82 .Weinberg , R.A., Scientific American , **September** (1996) 62 – 70

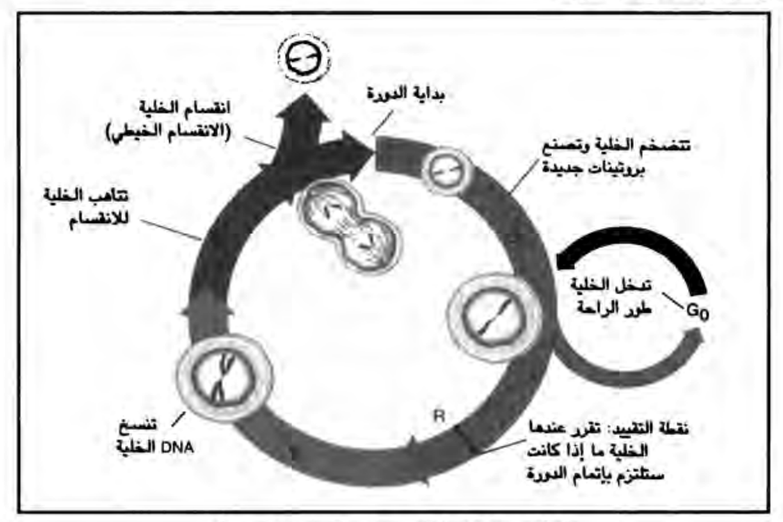
لقد ترجمت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت بالعنوان: « **كيف ينشأ السرطان** »، في العدد الخاص من «مجلة العلوم» (الكويت) الموسوم بالعنوان: « **ما الذي نحتاج إلى معرفته عن السرطان** »، المجلد **14** العددان **1** و**2** يناير-فبراير (كانون الثاني-شباط) 1998، الصفحات 8-17.



وينشأ السرطان عادة نتيجة خلل يطرأ على منظومة نقل الإشارات (أفراد الكتيبة الدلوية). ويؤدي هذا الخلل عادة إلى زيادة في تنبيه الخلية، يفوق ما يلزمها عادة، الأمر الذي يدخل الفوضى في جهاز الانتساخ. وبالنظر إلى «أنانية» الخلية في نزوعها إلى الانقسام كي تستمتع به (الانقسام يعيد «الشباب» إلى الخلية، بل يجعلها خالدة في الزمن، أي لا يصيبها الموت)، فإنها تبدأ بتسخير هذه الفوضى باتجاه استهلال الانقسام. بيد أن نظاماً جينياً آخر يحاول إنقاذ الموقف، والتخلص من التنبيه المفرط، الذي تسبب بهذه الفوضى. إن هذا الجهاز الجيني، يعمل على نحو معاكس، فيرسل

←وسرطان الدرق...). ولكن الانقسام اللامبرمج، أو التسرطن، لا يحدث إلا إذا أخفقت الجينات الكابتة للانقسام، أو للورم، في عملها. ونذكر من بين أهم الجينات الورمية المنبهة للانقسام الجين ras، ذي العلاقة بنشوء ربع الأورام البشرية تقريباً (أورام الرئة والمبيض والقولون والبنكرياس وابيضاضات الدم...)، والجين myc التي تسهم في نشوء أورام ابيضاضات الدم والثدي والمعدة والرئة. ونذكر من بين أهم الجينات الكابتة للانقسام أو للورم (التي تسبب الورم إذا ما اختلت وظيفتها، فأصبحت غير قادرة على منع نشوء الخباثة)، الجين p53 وp73 والجينات ذات الصلة (يُرجع إلى الحاشية 4.6)، وحيث يطلق البعض على الجين P53 اسم حارس الجينوم. لأنه في حال حدوث زيوغ صبغية، توقف هذه الجينات الانقسام الخلوي، لتفسح المجال أمام جهاز تصليح تكسرات DNA، (ADN كي يقوم بعمله، فيصلح هذه الزيوغ، ويمنع حدوث طفرات تتسبب في نشوء أورام خبيثة، تودي بحياة الفرد. وعندما تنهي عملية التصليح، يزيل البروتين P53 إحصاره (منعه)، فتتابع الخلية إنقسامها. أما إذا أخفق جهاز التصليح بإنجاز مهمته (بسبب فداحة الكسور الصبغية)، فإن الجين p53 يطلب الموت للخلية بعمله (عن طريق أنزيمات الكاسباز caspases في الكوندريات) على فتح كل أقنية الكلسيوم في الغشاء البلزمي للخلية، فتتدفق الإيونات Ca^{2+} إلى داخل الخلية، فتغرقها، مسببة موتها. وهذا هو الاستموات، أو الموت الخلوي المبرمج، أو الانتحار الخلوي. إن للجين PRB معتل الوظيفة علاقة وثيقة بنشوء قرابة نصف أنواع السرطانات البشرية. ومن بين أهم الجينات الكابتة للورم الجين BRCA (من breast caneer، أو ورم الثدي) ذو العلاقة بورم الثدي والمبيض، والجين RB (من retinoblastoma، أو ورم الأرومة العصبية)، الذي يرمز البروتين PRB الكابت الرئيس للدورة الانقسامية الخلوية، وهو ذو صلة وثيقة بأورام الأرومة العصبية والنسيج العظمي والمثانة وبعض سرطانات الرئة والثدي.

يمكن الاستنتاج مما سبق أن نشوء الخباثة إنما يرجع أساساً (كما أكدنا غير مرة) إلى عودة الخلية إلى الانقسام، سواء كانت خلية هاجعة، أو خلية متمايزة متخصصة بوظيفة معينة. وفي الحالتين كلتيهما، تكون الخلية في الفضوة Go (أي خارج الدورة الخلوية). ويقتضي التســرطن عودتها إلى الدورة الخلوية، فتنتقل عندئذ إلى الفضوة G_1. هذا، ويمثل الشكل 8.37 تمثيلاً ترسيمياً لأطوار الدورة الخلوية، ولبعض البروتينات التي تسهم في إنجاز هذه الدورة. ويمكن الرجوع إلى كتاب «**الاستنساخ، جدل العلم والدين والأخلاق**»، دار الفكر، دمشق، (1997)، الصفحات 52-57 للاطلاع على بعض جوانب الدورة الخلوية. ←



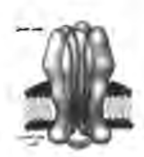
الشكل 8.37 (الشرح في الصفحة التالية)



إشارات لكبت فرط التنبيه . وتحدث الخباثة عندما يخفق النظامان كلاهما . ويلاحظ هذا الاخفاق أيضاً عندما يطرأ خلل ما على بنية جين أساسي للانقسام أو للتمايز، حيث يستبدل نكليوتيد (وحدة بناء، أو لبنة صرح الجين) بآخر . وهذا ما يعرف بالطَفْر mutation . كما يحدث هذا الاخفاق لنظامي التنبيه والكبت الجينيين في حالات انتقال جزء من أحد الصبغيات إلى صبغي آخر . وهذا ما يعرف بالإزفاء الصبغي(13.8) translocation (أو الانتقال الصبغي). وعموماً، يُقَدِّرُ بعض الباحثين عدد الطفرات (أو العيوب الجينية، الذي يجب أن يحدث، كي يختل عمل نظامي تنبيه الانقسام وكبته، فتستهل خلية واحدة عملية التسرطن)، يُقَدِّرُ هؤلاء الباحثون عدد الطفرات بست طفرات . ويُعتقد أيضاً أن الزمن اللازم لخلية ما كي تراكم هذا العدد من الطفرات، يُقَدَّرُ ببضعة عقود من السنين . فالخباثة التي تظهر في سن الخمسين مثلاً من عمر الفرد، ربما تكون الطفرة الأولى لها قد وقعت والمرء يافع (ما قبل العشرين من العمر). ويظن البعض أن الزمن الذي يفصل الطفرة الأولى عن الثانية هو أطول الأزمنة، ويقدر بعشرات السنين . ومع أن هذه الملاحظات تعكس عموماً الواقع الفعلي (ظهور معظم السرطانات في المراحل المتأخرة من عمر الإنسان)، فإن عليها أن تأخذ في الاعتبار وهن الجهاز المناعي مع تقدم العمر بالجسم . ويفسر الباحثون الظهور المبكر لبعض السرطانات (سن الطفولة، أو سن الشباب) بتأهب وراثي، يسبب حدوث الطفرة الأولى في عمر مبكر جداً (ربما في الجنين)، الأمر الذي يختصر العقود العديدة للسنين الضرورية ليصبح الورم الخبيث محسوساً، يختصرها إلى عقد واحد أو عقدين على الأكثر . هذا، ونود أن نلفت مرة ثانية نظر القارئ العربي إلى العدد الخاص من مجلة العلوم الموسوم بالعنوان: «ما الذي نحتاج إلى معرفته عن السرطان»، المجلد **14** العددان 1 و 2 يناير (كانون الثاني) / فبراير (شباط) 1998. وقد تؤدي طفرة واحدة فقط إلى حدوث التسرطن .

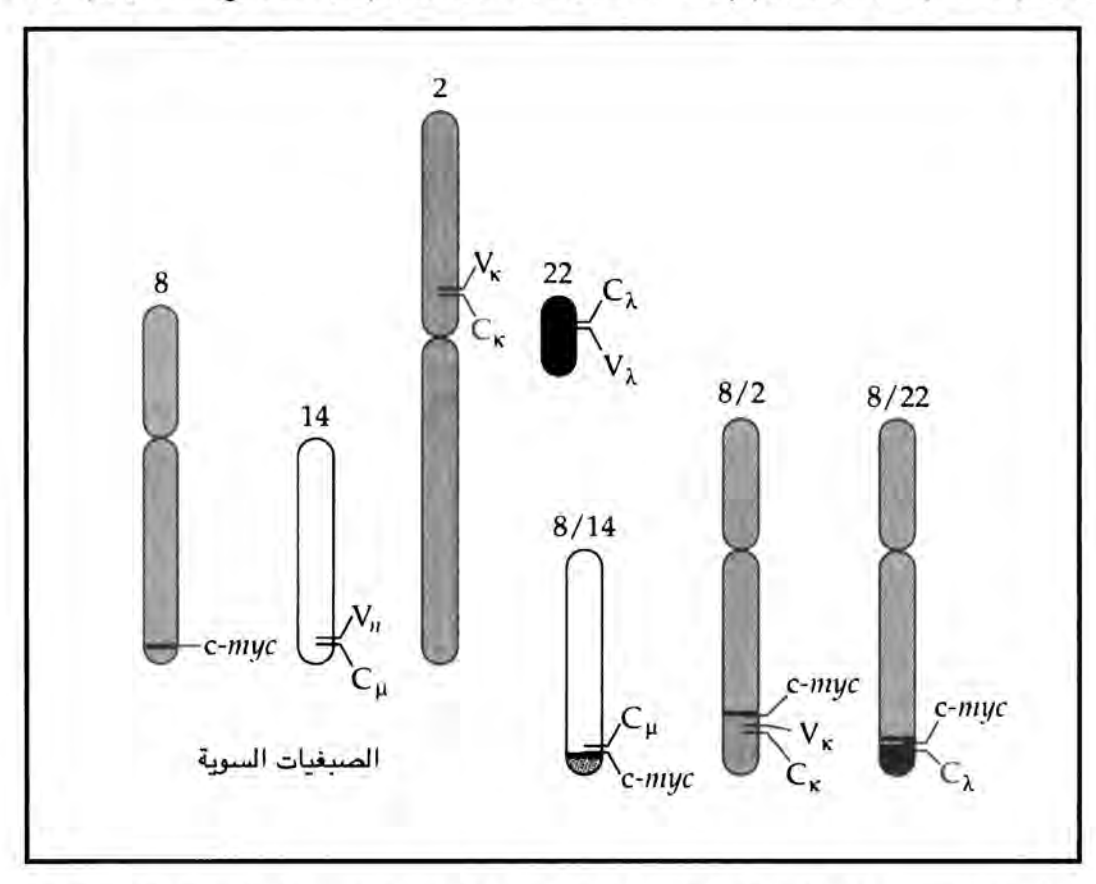
الشكل 8 . 37. مخطط ترسيمي لأطوار الدورة الخلوية . يرمز G_1 إلى الفضوة gap الأولى ، وG_0 إلى إما الطور التمايزي الوظيفي ؛ أو إلى طور الهجوع ، و R إلى نقطة التقييد حيث يؤدي توافر جزيئات معينة إلى الزام الخلية بمتابعة الدورة الخلوية ، في حين يسبب غياب هذه الجزيئات إلى عودة الخلية إلى الطور التمايزي الوظيفي أو إلى طور الهجوع . ويرمز S (من synthesis ، synthèse) إلى طور تركيب DNA ، ADN ، وG_2 إلى الفضوة الثانية حيث تتأهب الخلية للانقسام ، وM إلى طور الانقسام mitosis ، mitose . إن جسم الإنسان (الذي يتألف من مئة ألف مليار خلية ، تنتظم في اكثر من ثمان مئة نمط ـ نسيج ـ ، وربما في 40 ألف نمط)، يحوي خلايا في الأطوار كلها ، لكن معظم خلايا الجسم هي في الطور G_0 الوظيفي (أي تقوم الخلايا بوظائفها بعد أن توقفت عن الانقسام واستكملت تمايزها) . ولكن كل نسيج من نسج الجسم يحوي خلايا غير متمايزة ، استقرت في مرحلة الهجوع من الطور G_0 ، وتشكل احتياطياً للنسج ، تتمايز كلما دعت الحاجة إلى ذلك . كما يوجد في كل نسيج (بما في ذلك الخلايا العصبية وخلايا الدماغ) عدد من الخلايا داخل الدورة ، تنقسم فيه الخلايا التي عادت من مرحلة الهجوع (الطور G_0) إلى الدورة، لتعوض عن خلايا أصابها الاستموات . وتعرف هذه الخلايا الهاجعة بالخلايا الجذعية stem cells ، cellules souches ، ويمكن استعمالها في الهندسة النسيجية أو هندسة النسج (انظر الفقرة الخاصة بهذا الموضوع في الفصل التاسع) (عن Weinberg, 1996 ، المرجع 82 وترجمته ، ص . 13) .

←(8 . 13) قد يكون من المفيد أن نذكر مثلاً عن أحد الأورام الذي تسببه الأزفاءات (الانتقالات) الصبغية . إن الشكل 8 . 38 يمثل الإزفاءات التي تصيب الصبغيات 8 و 2 و 14 و 22 في الإنسان، وتؤدي إلى انتقال الجين الورمي c-myc (يُرجع إلى الحاشية السابقة 8 . 12) إلى أمكنة، تجعلها تنبه تركيب السلسلة الثقيلة ميو u ، أو السلسلتين الخفيفتين كابا ولامدا من جزيء الغلوبُلين المناعي، محدثة ورم « بوركيت » Burkitt اللمفاوي، الذي يصيب اللمفاويات البائية التي تركب الغلوبُلينات المناعية . وكما يتضح من الشكل (حيث يمثل القسم الأيسر منه الصبغيات 8 و 14 و 2 و 22 ←

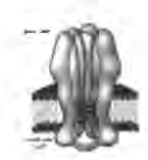


هذا، ولا بد من الإشارة، بصدد الحديث عن نشوء الخباثة، إلى بنية خاصة تؤدي، على ما يبدو، دوراً مهماً في هذا النشوء. إن هذه البنية توجد في نهاية كل صبغي من صبغيات الخلية، وتُعرف بالقُسيمات الانتهائية (التيلوميرات) telomeres، télomeres. وتتألف القُسيمات الانتهائية من DNA، ADN ذي تكرارية عالية. وتفقد الخلية في كل انقسام خلوي جزءاً من DNA، ADN القُسيمات الانتهائية. وتتوقف الخلية عن الانقسام قبلْ أن يصل هذا التقاصر الصغري للصبغي جيناً من الجينات الوظيفية. وبوسع الخلية أن تنقسم قرابة خَمسين مرة قبل أن يصيبها البلى، فالموت، بسبب اهتلاك موادها الأساسية. ولكن عند انتهاء كل انقسام يتوجب إغلاق نهايتي الصبغي كي لا تبقى لزجة، مشرشرة، كنهاية جديلة من الخيوط هائلة العدد، قُطعت نهاياتها. ذلك أن بقاء النهاية مفتوحة، تجعل حركة الصبغيات مستحيلة،

←السوية للإنسان، ويمثل القسم الأيمن الإزفاءات الصبغية بين هذه الصبغيات)، فإن الجين c-myc انتقل، ليتوضع في ناحية المعزّز للسلاسل الببتيدية الثلاث (المجال الثابت Cu للسلسلة الثقيلة ميو، والمجال المتغير للسلسلتين الخفيفتين كابا ولامدا، أيV كابا، وV لامدا. إن وجود هذا الجين الورمي c-myc في ناحية المعزز، يسهم في إعادة البائيات إلى الدورة الخلوية، ومن ثم نشوء أحد الأنواع الثلاثة من ورم «بوركيت».



الشكل 8 .38. مخطط ترسيمي لثلاثة أنواع من الإزفاءات (الانتقالات) الصبغية، يؤدي حدوث كل واحد منها وعلى نحو مستقل ورم «بيركت» Burkett اللمفاوي الذي يصيب الخلايا البائية للإنسان. ففي كل حالة من الحالات الثلاث، يُزفى (يُنقل) الجين c-myc (الذي يوجد في الصبغي 8) إلى ناحية المعزز لجين الغلوبُلين المناعية في الصبغيات 2 و 14 و 22. ترمزCu إلى السلسلة الثقيلة من الغلوبُلين المناعي M (IgM)، و Ch و CK لامدا وكابا إلى جيني السلسلتين الخفيفتين لامدا وكابا (عن Gilbert, 1994، المرجع 66، ص. 399). وتجدر الإشارة إلى أنه اصطلح على أن يُرمز إلى الجين بحرف صغير، فنكتب مثلاً c-myc وp53، وإلى البروتين المُرَمَّز في الجين بحرف كبير، فنكتب مثلاً C-myc و، P53.



حيث تتلاصق النهايات المفتوحة اللزجة بعضها ببعض، فتصبح الصبغيات على شكل كتل كبيرة. ويقوم بعملية الإغلاق هذه أنزيمٌ يعرف بالتيلوميراز telomerase، télomerase، الذي يُصنع في بداية كل انقسام (الشكل 8 . 39 -أ و ب).

الشكل 8 . 39 - أ . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح)، توضح القُسيمات الانتهائية telomeres ، télomères لصبغيات الإنسان كما تم الكشف عنها بوسمها لتصبح متألقة بتقنية التهجين في موضعه *in situ hybridization* ، *hybridation in situ* . وكما هو معلوم ، فإن الخلية تفقد مع كل انقسام جزءاً محدداً من تسلسلات DNA ، ADN في نهايات صبغياتها . ويقوم أنزيم التيلوميراز (انظر الشكل 8 . 40) ، في إثر كل انقسام ، بتركيب قلنسوة تغطي نهايات الصبغيات (كي لا تبقى مشرشرة) حتى الدورة الانقسامية التالية . إن اغتراس جين التيلوميراز في الخلية يطيل أجلها ، وقد يؤدي ذلك إلى إيجاد « معالجة جينية » للأمراض المرتبطة بالعمر ، ولمعالجة السرطان . إن تيلوميرات الصبغيات في هذا القسم من الشكل وُسمت بصباغ متألق أصفر [عن O,Connor, B., Biotech Lab Interna. **3(1)**,1 and 16(1998)] .

ويتألف هذا الأنزيم من معقد جزيئي يتكون من RNA، ARN، وأنزيم الانتساخ العكسي[14.8] (الشكل 8 .40 يُرجع أيضاً إلى الحاشية 7.7). وبالنظر إلى أن القُسيمات الانتهائية وأنزيم التيلوميراز يحددان تحديداً صارماً عدد الانقسامات الخلوية، فإن البعض يطلق عليهما اسم «الساعة الخلوية». وما إن تتوقف الخلية عن الانقسام، وتبدأ بالتمايز (التخصص بوظيفة معينة)، حتى يصبح أجلها محدداً، إذ إنها ستموت آجلاً أو عاجلاً. إن السبب الأساسي في ذلك

الشكل 8 .39-ب. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح)، توضح القُسَيِّمات الانتهائية لصبغيات الإنسان، حيث تم وسمها بصباغين متألقين أحمر وأخضر [De Lange, T., La Recherche **322** 58-60(1999), P.58].

(14.8) إن اكتشاف أنزيم التيلوميراز، وتعرّف بنيتها (يُرجع إلى الشكل 8 .40) في عام 1998، جعل الباحثين يعتقدون أن تزويد الخلايا بهذا الأنزيم يطيل أجلها، أمر مهم جداً في ما يتعلق ببعض الأنماط الخلوية، كخلايا الجلد (الضرورية لترميم الجلد في حالات الحروق مثلاً)، والخلايا البطانية للأوعية الدموية، وخلايا شبكية العين، والخلايا المناعية. . . . أضف إلى ذلك أن الباحثين، استطاعوا أن يحرضوا الخلية على الانقسام (بتنشيط جين التيلوميراز)، ليصل عدد انقساماتها إلى تسعين انقساماً (عوضاً عن خمسين) دون أن تبدي الخلية أي سمة من سمات التسرطن. ←



يرجع إلى أن الخلية لم تعد تستطيع تركيب أنزيم التيلوميراز . أمّا في الخلايا السرطانية، فإن تركيب الأنزيم يستمر إلى ما لا نهاية (يُرجع إلى الشكل 8 . 40 والمقطع الأخير من هذه الحاشية) . لذا، فإن الخلايا السرطانية تنقسم باستمرار، ولا يصيبها الموت، فهي بهذا المعنى «خالدة» .



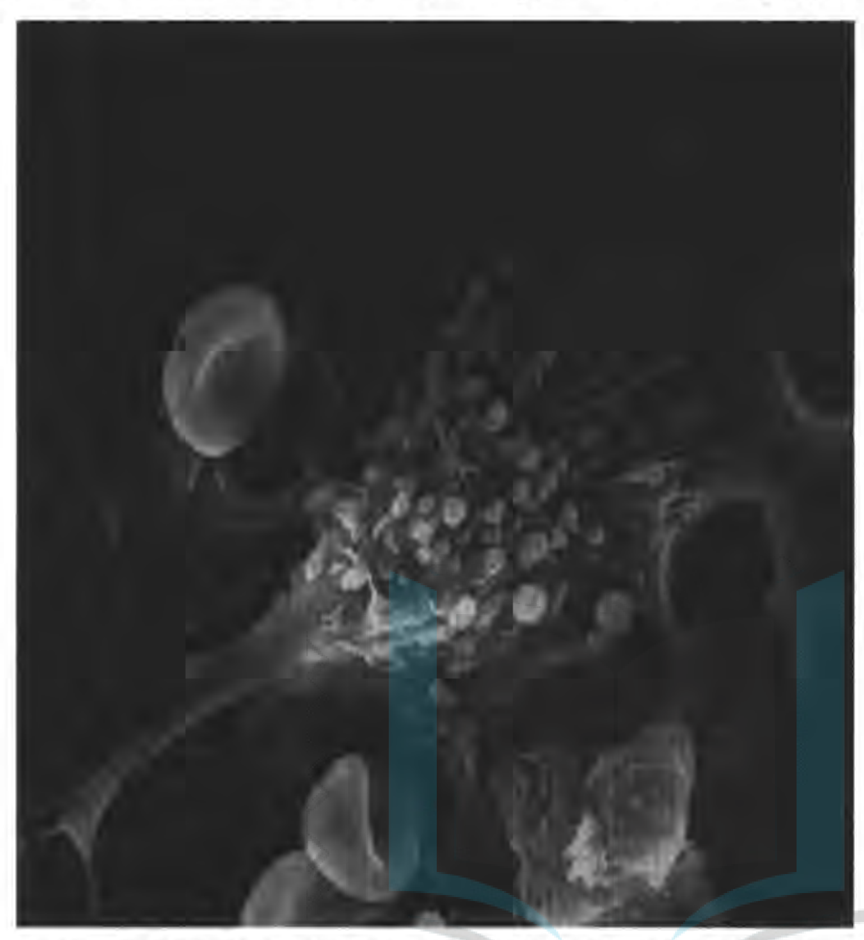
الشكل 8 . 40. مخطط ترسيمي لأنزيم التيلوميراز الذي يتألف من ثلاث وُحيدات بروتينية، تعمل على ترميم نهايات الصبغيات عن طريق إضافة تسلسلات نكليوتيدية تكرارية جديدة لنهاية شريطة DNA ، ADN (التيلومير) عوضاً عن النكليوتيدات التي تُفقد في نهاية كل انقسام بسبب عدم مقدرة أنزيم بوليميراز DNA ، ADN (التي تسبب تنسّخ هذا الحمض) على تركيب نهاية شريطة DNA ، ADN التي تتألف (كما هو موضح في الشكل) من ستة نكليوتيدات، هي : TAGGGT ، تتكرر آلاف المرات . ويتألف أنزيم التيلوميراز، الذي يوجد في الخلايا الجنسية والخلايا السرطانية، من ثلاث وُحيدات، إحداها أنزيم الترنسكريبتاز العكسي (الانتساخ العكسي) ، reverse transcriptase ، transcriptase inverse ، ومن قطعة من RNA ، ARN تتألف من التسلسل المتمم لتسلسل نهاية شريطة DNA ، ADN ، أي التسلسل AUCCCA(كما هو موضح في الشكل) . ويعمل هذا التسلسل من RNA ، ARN كطراز لتنسّخ (لتضاعف) آلاف التسلسلات من التسلسل المتمم TAGGGT التي فُقدت في أثناء الانقسام . فالتيلوميراز تقوم إذاً بالتعويض عن تسلسلات DNA ، ADN المفقودة، فعملها تصليحي كعمل الجين p53 . أما في الخلايا السرطانية، حيث لا يتوقف الانقسام، فإن أنزيم التيلوميراز يُركب باستمرار، ولكن لا يتمكن من التعويض عن كل التسلسلات المفقودة، فيتقاصر الصبغي، ويصبح أكثر ثخناً من الصبغي السوي . لقد مُثِّل أنزيم الترنسكريبتاز العكسي بالأصفر، ووُحيدتي التيلوميراز الأخريين بالوردي (عن المرجع الوارد في نهاية الشكل السابق - 8 . 39 - ب - ، ص . 59)

← كما يرى الباحثون أن تثبيط تركيب أنزيم التيلوميراز، يمكن أن يوقف الخلايا السرطانية عن الانقســـام، ومن ثم يمكن اعتماد هذه التقنية كطريقة علاجية . ولقد اتضح [82-II,82-I] حديثاً أن أنزيم التيلوميراز، يؤدي وظيفة مهمة أخرى وذلك بالإضافة إلى تمكين الخلية من البقاء في الدورة الخلوية واستمرارها بالانقسام بتركيبها القُسيمات الانتهائية التي تغلق (في إثر كل انقسام) نهايات الصبغيات . وتتمثل هذه الوظيفة الإضافية بتصليح الأشرطة المعطوبة من حلزونات DNA، ADN مزدوجة الشريطة . ويتناول هذا التصليح ترميم الكسور الصبغية التي تحدث نتيجة تعرض الخلايا للأشعة المؤينة، وللجذور الحرة المؤكسدة عامة . فالتيلوميراز يصبح (بهذا المعنى)، شأنه في ذلك شأن الجين p53 (يُرجع إلى الحاشية 5 . 3)، جزءاً من نظام ضبط النوعية (الجودة) في الخلية (انظر الحاشية 9 . 5) . فبناءً على هذه الوظيفة المزدوجة للتيلوميراز، يمكننا القول إن الصبغيات تتعرض إلى أذيات مختلفة، منها تكسر الشريطتين المتامتين لحلزون «واتسون» و «كريك» المزدوج نتيجة التعرض لتأثير الجذور الحرة، ومنها أيضاً خسارة الصبغيات لأجزاء من نهاياتها الطرفية في إثر كل انقسام، فتقوم التيلوميراز في الحالتين كلتيهما بتصليح هذه الأذيات . فالقسيمات الانتهائية (بهذا المعنى) هي نوع من «الكــــسور» التي تصيب نهايات الصبغيات عند كل انقسام، فيعمل التيلوميراز على تصليحها . ويُعتقد أيضاً أن التيلوميراز، يؤدي دوراً مهماً في عملية تضاعــــف المادة الجينية (DNA، ADN) في الطـــور S من الدورة الخلوية . إن أنزيم الانتســـاخ العكسي، الذي يشكل إحدى الوحَيدات الثلاث للتيلوميراز، يُحَوِّل (كجزء من نظام ضبط الجودة) جزيء RNA، ARN التامي ←

82-I. Lundblad , V., Nature **403** , 149 – 151 (2000) .
82-II. Ahmed , S. and Hodgkin , J., Nature **403** , 159 – 164 (2000).



←(في أثناء تكرر -تنسـخ- الكروماتين في الطور S من الدورة الخلوية)، يُحَوِّله إلى DNA، ADN. وبطبيعة الحال، فإن بوليميراز DNA، ADN يؤدي الدور المحـوري في عملية التكرر (التـنسخ). إن تركيب RNA، ARN، كشدف متممة لحلزونات «واتسون» و«كريك»، ثم تحويـل نـكـليوتيدات هذه الشدف إلى DNA، ADN بـوسـاطـة وحَـيـدة أنـزيم الانتسـاخ العكسـي (التي تشكل جزءاً أسـاسـياً من التيلوميراز)، وبفعل مباشر من بوليميراز DNA، ADN، إن هذا التركيب إذاً هو (في رأينا) جزء من نظام ضبط الجودة في الخليـة (كـبروتينات الصدمة الحرارية)، يقلل من أخطـاء بوليميرازDNA، ADN، ويجنب الخلية والكائن الحي حدوث طفرات قد تكون غير مؤاتيـة. وتجدر الإشارة (بصـدد الحديث عن أهمية أنزيم التيلوميراز في سـيرورة التسـرطن) إلى أن فريقـاً من البـاحثين [82-III] أعلـن أنه أصبح بالإمـكان تحويـل خلية بشـرية سـوية إلى خلية سـرطـانية (الشـكل 8. 41). ولقد حدث هذا الاكتشـاف نـتـيجـة أبـحـاث ←



الشـكل 8. 41. صـورة بالمجهر الإلـكتروني الـتـفرّسي (الماسح) لخلية أرومة ليفية، تحولت إلى خلية سرطانية في إثر «اغتراس» ثلاثة جينات في جينومها. وهذه الجينات هي : الجـين الـورمية ras، وجـين الـبروتـين الورمـي T، وجـين أنـزيم الـتـيـلـومـيراز [عن Hahn et al.1999, المرجع 82-II. الشكل من Biotech Lab Interna.4,9.4-10 (1999)].

←استمرت خمسة عشر عاماً. وكان بالإمكان (في الماضي) تحويل خلية سوية من الفأر إلى خلية سرطانية، ولكن الخلايا البشرية ظلت عصية على هذا التحول، إلى أن تمكن فريق الباحث الأمريكي «واينبرغ» Weinberg من إحداث هذا التحول الذي قد يساعد على التوصل إلى فهم أعمق لسيرورة نشوء الخباثة، ومن ثم معالجتها. ولقد تحولت الخلية السوية (ظهارية أو أرومية ليفية) إلى خلية سرطانية بإدخال ثلاثة جينات في صبغياتها (جينومها). وهذه الجينات هي: الجين الورمية ras، وجين البروتين الورمي T، وجين أنزيم التيلوميراز. واستنتج فريق الباحثين أن الجين الثالث (جين التيلوميراز) أساسي لإحداث التسرطن، في حين أن الجينين الأول والثاني (الجين ras وجين البروتين T)، يؤهبان للإصابة بالسرطان، ولكن لا يكفيان لإحداثه، إلا إذا أُدخل معهما جين التيلوميراز. كما استنتج فريق «واينبرغ» أن حدوث التسرطن يحتاج إلى طفر عدد محدود من الجينات، وليس إلى طفر عدد غير محدود (يُرجع إلى المرجع 82 لتعرف أبحاث «واينبرغ» بتفصيل أوسع).

82-III. Hahn, W.C. et al., Nature **400**, 464-468 (1999).

الفصل التاسع

بيولوجيا القرن الحادي والعشرين

"Ce qui m' inquitète, c' est qu' il peu que d' autres progrès technologiques engendrent davantage de moyens de destruction de grande échelle, sans doute plus accessibles que l' arme atomique. Il est possible que parmi ces moyens figurent le génie génétique, etant donnée son effryante évolution".

Joseph Rotblat[83], prix noble (1995)

«إن ما يستثير قلقي هو أن يصبح بوسع أنواع أخرى من التقدم التقاني،
أن تستولد المزيد من الوسائل ذات المقدرة على التدمير الشامل،
وتكون، دون ريب، سهلة المنال أكثر من السلاح الذري.
ومن الممكن أن تكون الهندسة الجينية من بين هذه الوسائل،
وذلك بالنظر إلى التطور المخيف الذي تشهده».

السير «جوزيف روتبلات» (الفيزيائي البريطاني الذي
منح عام **1995** جائزة نوبل للسلام بسبب
نضاله الطويل ضد الأسلحة النووية). *

---

83. Ho , M-W. dans "**Génie Génétique**", 13 - 63 (1997) , Sang de la Terre, Paris.

* كما كنا أشرنا في الحاشية التي بدأنا بها الفصل السابع، نعود هنا لنقتبس بقية قصيدة، «بدر شاكر السياب»، الموسومة بالعنوان «أفياءُ جيكور». ولا يعود اهتمامنا بهذه القصيدة إلى جمال صورها، وأناقة لغتها، وعمق الأفكار التي وردت فيها فحسب، بل لعلاقتها (بشكل أو بآخر) بمفهوم «الزمن»، موضوع سنعرض له في نهاية هذا الفصل (ونقترح على القارئ أن يعود ويقرأ هذه القصيدة بكاملها مرة ثانية، وذلك بعد قراءاته الفقرة 9.9):

←

← «جيْكور . . مـاذا ؟ أنمشي نحـنُ فـي الـزَمَـنِ
أمْ أنــه المــاشي
ونحــن فيـه وُقـوفٌ
أيــنَ أولُــه
وأيــن آخـرُه ؟
هـل مـرَّ أطولُـه
أمْ مـرَّ أقـصرُه المـمتدُّ فــي الشَجَــنِ
أمْ نحـنُ سيـان، نـمشي بيــنَ أحــراش
كـانت حـياةُ سوانــا فــي الديــاجـير ؟
هـل أنَّ جيْكور كـانتْ قبــلَ جيْــكور
فـي خـاطر الله . . فـي نبعٍ مــن النــورِ ؟

جيْكور مُـدّي غشاءَ الظِــلِّ والــزَهَر،
سُدّي بــه بــاب أفـكاري لأنــساها .
وأثْقلي مــن غـصونِ النَــوْمِ بـالثمَــر
بالخوخ والتينِ والأعنابِ عاريةً من قشرها الخَضِرِ
ردِّي إلَــيَّ الــذي ضيَّعـتُ مــن عُـمُري
أيَّــام لـهْوي . . وركضـي خَلفَ أفـراس
تعــدو مــن الـقَصَص الـريفي والسَمَــر،
ردِّي أبــا زَيْــدَ، لــم يصحبْ مـن النـاسِ
خــلاً علــى السفَــرِ
إلاَّ وما عاد .
ردِّي السندبـادَ وقـد ألقتـه فـي جُـزُر
يـرتـادُها الــرَخُّ ريـح ذاتُ أمــراسِ

أفيــاءُ جيْــكورَ نبعٌ سالَ فــي بـالي
أبــلُّ منـها صَدى روحــي . .
فـي ظلِّـها أشتهي اللُقَيا، وأحلمُ بالأسفار والـرّيحِ
والـبحرُ تقدحُ أحداقُ الكواسِجِ فــي صَخَبه العالي
كـأنها كسرٌ مــن أنجمٍ سَقطـتْ
كأنها سُرُجُ الموتى تقلِّبها أيدي العرائسِ من حالٍ إلى حالِ .

أفيـاءُ جيْـكورَ أهواهـــا
كــأنها انسرحتْ مـن قبرها البالـي،
مـن قبرِ أمي التي صارتْ أضالِعُها التَعبى وعيناهـا
مـن أرضِ جيْكورْ . . ترعانـي وترعاهــا »

«جيْكور»، 17 / 3 / 1962

1.9. مقدمة

قبل الدخول في تفاصيل ما نعتقده المنحى الذي ستتخذه الأبحاث والدراسات في القرن الحادي والعشرين، قد يكون من المفضل تلخيص الأفكار الرئيسة التي اشتملت عليها الفصول السابقة وفقاً للنظرية التي تشكل محور هذا الكتاب، والتي وضع أسسها المؤلف، وحاول البرهان على صحتها.

أولاً. يؤلف الكون القابل للرصد 5 % فقط مما هو موجود من طاقة ومادة. وإن غالبية الوجود (أي 95 %)، يتألف من مادة سوداء باردة، ومن طاقة معتمة. كما إن الكون القابل للرصد في توسع دائم (يرجع إلى نهاية «المقدمة»). إن هذا الكون القابل للرصد (ويضم مئات مليارات المجرات، وتشتمل كل مجرة على مئات مليارات النجوم)، يتألف من نوعين من المكونات، هما: 1. **الطاقة**، أي الفوتونات، ورسل أو حوامل القوى الأربع للطبيعة، وأنواع الأشعة كافة (من أشعة غاما إلى الأمواج المترية، مروراً بالأشعة السينية وفوق البنفسجية والطيف المرئي والأشعة الحرارية ما تحت الحمراء. 2. **المادة** (وما تبقى من المادة المضادة)، متمثلة بالإلكترونات والكواركات التي تشكل مادة هذا الكون القابل للرصد، بدءاً بطول «بلانك» حتى نصف قطر الكون، مروراً بالأجسام الصغرية كافة، والكواكب والنجوم والمجرات وتعنقداتها (حشودها). 3. **وكما سبق أن أشرنا**، فإن المادة السوداء الباردة والطاقة المعتمة تجعلان أوميغا omega (أي نسبة الطاقة التثاقلية إلى الطاقة الحركية ـ الطاقة المحتواة في حركة المادة في أثناء توسع الكون) تساوي الواحد، أو قريبة منه بتقريب قدره جزء واحد من مليار مليار جزء. فلا ينسحق الكون القابل للرصد على نفسه معانياً ارتصاصاً أعظم (حيث تكون أوميغا أكبر من واحد)، ولا ينفلت، فتهرب المجرات، وتنأى، وتتلاشى مادة الكون في كثافة خفيضة جداً (حيث تكون أوميغا أقل من واحد) [84-88]. بناء على هذه المعطيات، فلقد تم تحديد ثابتة هَبْل بقيمة حالية، تتراوح ما بين 61 و 70 كيلومتر في الثانية لكل مليون فرسخ نجمي (أي لكل 3.26 مليون سنة ضوئية)، الأمر الذي يجعل عمر الكون مساوياً 13.4 ± 1.6 مليار عام.

ثانياً. لدى حدوث الانفجار الأعظم في الركام الكمومي (المتناهي في صغره، وشدة كثافته، وفرط سخونته وشوشه، وحيث كانت القوى الطبيعية الأربع موحدة في بنية غشائية حويصلية وترية ذات أحد عشر بعداً)، وُلد المكان والزمن، ووُلدت القوى الطبيعية الأربع بثلاثة انتقالات طورية انجمادية، سببها تزايد انخفاض درجة حرارة الكون الوليد. وأعقب ولادة هذه القوى تشكل المادة، ومن ثم الجزيئات اللاعضوية والعضوية، ونشوء القوى أو الروابط الأربع اللاتكافؤية. وأصبح الكون بحجمه الحالي تقريباً في إثر مرور مليار عام على حدوث الانفجار الأعظم.

ثالثاً. وُلدت الشمس وكواكبها التسعة (بما في ذلك الأرض) عندما أصبح عمر الكون قرابة ثمانية مليار عام. وكان الماء قد تشكل قبل ذلك بكثير، أي عندما استطاع الهدرجين أن يرتبط بالأكسجين، ويشكل بخار الماء. وتعرضت الأرض في إثر تشكلها إلى ثلاث كوارث هائلة، نجت منها كلها، واستطاعت أيضاً بدايات الحياة أن تصمد بدورها أمام هذه الكوارث، وتتابع سيروراتها في تطور موجه ومحتوم. وتمثلت الكارثة الأولى بقصف هائل من كتل صخرية سديمية مفرطة

84. Glanz, J., Science **282**, 2156 - 2157 (1998).
85. Lineweaver, Ch. H., Science **284**, 1503 - 1507 (1999).
86. Finkbeiner, A., Science **284**, 1438 - 1439 (1999).
87. Bahcall, N. A. et al., Science **284**, 1481 - 1488 (1999).
88. Coles, P., Nature 398, **288** - 289 (1999).

الضخامة على شكل نيازك وشهب، وأدى هذا القصف إلى تشكل حفر ضخمة جداً (بدايات بحار ومحيطات اليوم)، كما أدى هذا الرجم إلى تبخر معظم مياه الأرض. ولم تكد تنتهي الكارثة الأولى حتى أحاقت بالأرض الكارثة الثانية: تجمدّ مفرطّ لكل شيء بسبب خفوت أشعة الشمس الفتية. وما إن تخلصت الأرض من الكارثة الثانية، حتى ألَمّت بها الكارثة الثالثة: فيضٌ هائلٌ من غاز سام (هو الأكسجين)، يغزو لأول مرة سطح الأرض، ليحدث الموت في حياة غير منوطة به، ويعيث فساداً على شكل انجماد ثانٍ. على الرغم من كل هذا، تابعت الحياة سيروراتها [89].

رابعاً. كان «الحساء» البدئي للأرض يحوي أكثر من مئة مركب عضوي، منحلة في ماء السبخات الأولى. وكان الفورم ألدهيد، وحمض السيانيدريك من أهم المواد المنحلة في ماء «الحساء» البدئي. وكان هذا الحساء يتعرض باستمرار لنوعي الأشعة: فوق البنفسجية (التي تسبب تكسر الروابط، فتؤدي إلى تنشيط التفاعلات)، وتحت الحمراء الحرارية (التي تيسر حدوث التفاعلات برفعها درجة حرارة الوسط). ولكن«الحساء» البدئي احتوى على السيليكات (أملاح السيليسيوم) أيضاً.

خامساً. استطاعت السيلكيات (أنواع الصلصال) أن تبني، بتقنية خفيضة،«حياة» البلورات، التي تستطيع أن تستقلب وتنمو وتتكاثر وتغير من شكلها. كانت هذه البلورات قادرة على بناء الأجيال التالية بامتلاكها نمطاً «جينياً»، متمثلاً بتوزع الشحن على سطح البلورة. وكان هذا النمط «الجيني» يرمّز النمط «الظاهري» (شكل البلورة واستقلابها ونموها وتكاثرها). ولكن «حياة» بلورات الصلصال توقفت عن التطور بسبب روابط السيليسيوم الأربع التكافؤية القاسية (غير اللينة)، ولعدم تمكن السيليسيوم من تشكيل مركبات عِطرية، يدخل في تركيبها الآزوت.

سادساً. كان الكربون ومركباته موجودة أيضاً في «الحساء» البدئي، جنباً إلى جنب مع السيليكات. واستطاع الكربون، بفضل تكافؤاتها الأربعة اللينة، وبوجود مركبين شديدي التفاعل (هما الفورم ألدهيد وحمض السيانيدريك)، وكذلك الأشعتان فوق البنفسجية وتحت الحمراء، استطاع الكربون أن يشكل مركبات عِطرية يدخل الآزوت في بنيتها، وأتى في مقدمة هذه المركبات الأساسان البوريان (من بورين purine): الأدنين والغوانين. كما كان بوسع الكربون أن يشكل الريبوز (بشكله المؤكسد)، وعدداً من الحموض الأمينية، والبسيطة منها على وجه التخصيص. واشتمل«الحساء» البدئي أيضاً على زمرة الفسفات التي أتى بها المطر الحمضي نتيجة حله لأملاح الصخور.

سابعاً. ومع أن تركيب الأسس البيريميدينية (من البيريميدين pyrimidine) (وبخاصة اليوراسيل والسيتوزين) أكثر صعوبة من تركيب الأسس البورينية (من البورين purine)، على الرغم من بساطة بنية الأولى مقارنة بالثانية، فإن وجود مركبات الكربون العضوية، وكذلك الفورم ألدهيد، وحمض السيانيدريك والأشعتان فوق البنفسجية وتحت الحمراء، وشروط «الحساء» البدئي، مكنت كلها من تركيب هذه الأسس، على الأقل اليوراسيل منها. ذلك أنه أمكن حديثاً تركيب RNA، ARN ريبوزومي يتألف من ثلاثة أسس فقط، هي: الأدنين والغوانين واليوراسيل (أي دون وجود أساس السيتوزين). واتضح أن لهذا الجزيء فاعلية تحفيزية مرموقة جداً، وتكفي لقيام عالم بدئي من RNA، ARN [90].

---

89. Vogel, G., Science **284**, 2111 - 2113 (1999).

هذا، ويمكن الرجوع إلى المقالة الموسومة بالعنوان «تضخم في كون منخفض الكثافة»، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **15** العدد **11**، نوفمبر (تشرين الثاني) 66 ـ 74 (1999).

90. Rogers, J. and Joyce, G. F., Nature **402**, 323 - 325 (1999).

ثامناً. استطاعت شروط «الحساء» البدئي أن تربط الفسفات بالكربون الخامس من جزيء الريبوز، وأحد الأسس الآزوتية الثلاثة (على الأقل) بالكربون الأول من جزيء الريبوز. وهكذا نشأت النكليوتيدات، وحدات بناء جزيء RNA، ARN، وفيما بعد DNA، ADN. كما أن شروط«الحساء» البدئي عملت على تكوثر polymerization، polymérisation هذه النكليوتيدات، كي يتشكل جزيء شبيه بجزيء RNA، ARN الحالي، يمتلك نمطاً جينياً متمثلاً بتسلسل هذه النكليوتيدات، مختزناً بذلك المعلومات الجينية لانتساخ جزيئات جديدة. كما يمتلك هذا الجزيء نمطاً ظاهرياً يتمثل بوظيفته التحفيزية (إجراء تفاعلات الربط المختلفة، وتفاعلات الحلمهة، أي شطر جزيء إلى جزيئين بتوسط الماء). وبدهي أنه لولا الروابط التكافؤية الأربعة اللينة للكربون، ولولا تشكل مركباته العطرية (التي يدخل الآزوت في تركيبها)، ولولا استقطاب جزيئات الماء، وأخيراً لولا وجود زمرة الفسفات، لما أمكن لجزيء RNA، ARN أن يتشكل، بنمطه الجيني متمثلاً بالبنية، وبنمطه الظاهري متمثلاً بالوظيفة. **يمكن القول إن هذا الجزيء استعار من عالم بلورات الصلصال التقنية الخفيضة كي يبني على صورتها ومثالها تقنية أكثر رفعة.**

تاسعاً. وما إن اتضح بالانتقاء الطبيعي (الذي هو برأينا فعل القوى الطبيعية الأربع، والقوى اللاتكافؤية الأربع المشتقة منها، وعموماً قوانين الطبيعة التي هي إرادة الله)، ما إن اتضح إذاً أن جزيئاتRNA ، ARN أعقد بنية، وأفضل أداءً وكفاية من بلورات الصلصال، حتى انتزعت تلك الجزيئات زمام المبادهة،، وسادت في الوسط ما قبل الحياة prebiotic، prèbiotique، وأحصرت في الوقت نفسه تطور عالم بلورات الصلصال.

عاشراً. استطاعت جزيئات RNA، ARN أن تبني الجزيئات البروتينية بكوثرة الحموض الأمينية بسيطة البنية، التي توجد في «الحساء» البدئي، كما كان بوسعها تحفيز تركيب حموض أمينية أعقد بنية. وأفادت جزيئات RNA، ARN من وجود البروتينات، كي تزيد من كفايتها وأدائها، فترابطت بها، وشكلت مركبات أكثر تعقيداً (الريبوزيمات والريبوزومات -التي هي أيضاً ريبوزيمات- والتيلوميرات مثلاً). إن كثرة من الأدلة تشير إلى أن عالم RNA، ARN بدأ أولاً، ثم أتت البروتينات بعد ذلك [91].

حادي عشر. إن بساطة بنية جزيء RNA ، ARN، وهشاشة هذا الجزيء النسبية جعلتا إمكان استبدال أساس بآخر (الطفر) أمراً سهلاً. وهكذا نشأ الراموز (الكود) الجيني (الوراثي) genetic code، code génétique[91] . وأصبحت بنية البروتينات مرمَّزة في تسلسلات RNA، ARN النوعية. ولكن هاتين الصفتين نفسيهما (بساطة البنية، وهشاشتها) كانتا السبب في انكفاء عالم RNA، ARN أمام جزيء أعقد بنية، وأفضل وظيفة، ونعني بذلك جزيء DNA، ADN، ذا الحلزون المزدوج. إن هذه البنية جعلت من الجزيء الجديد مركباً صلباً جداً (أصلب جزيء بيولوجي عرفته الطبيعة)، وأقدر على التنسخ. إنها تقنية أكثر رفعة من تقنية RNA، ARN التي استعارها هذا الأخير من بلورات عالم الصلصال. وكما أحصر RNA، ARN تطور بلورات الصلصال، فإن DNA، ADN (الذي عمل RNA، ARN بمساعدة البروتينات، على تركيبه) أحصر، بالانتقاء الطبيعي(كما سبق أن عرفناه كضرورة حتمية لا دور للمصادفة فيها، فرضتها قوانين الطبيعة، إرادة الله)، أحصر إذاً عالم RNA، ARN. إن الأدلة على ذلك كثيرة جداً. وليست الفيروسات المغايرة، والريبوزيمات، والريبوزومات، والتيلوميرات، وجزيئات نقل الطاقة واختزانها، وغيرها، سوى شواهد قبور عالم RNA، ARN.

91. Freeland , S. J. et al., Science **286** , 690 - 692 (1999).

ثاني عشر. ومع أن عالم DNA، ADN تسبب في انكفاء عالم RNA، ARN، ولكنه لم يستطع تنحية هذا العالم كلياً. وذلك كما حدث في ما يتعلق ببلورات الصلصال. صحيح أن جزيء DNA، ADN احتوى في تسلسل نكليوتيداته على النمط الجيني (المعلومات الضرورية للاستمرار في الزمن بظاهرة التنسخ réplication,replication، وللحفاظ في المكان على النمط الظاهري بنوعية تسلسل النكليوتيدات، وبالانتساخ transcription)، فإن هذا الجزيء لم يستطع القيام بعملية التحفيز من جهة، كما أنه لم يتمكن من نقل النمط الجيني إلى النمط الظاهري دونما توسط RNA، ARN من جهة أخرى. أي أن عملية تركيب البروتينات ظلت منوطة بأنواع RNA، ARN. كما أن جزيئات نقل الطاقة (NAD، و FAD)، وجزيئات اختزان هذه الطاقة (وبخاصة ATP ، و GTP) بقيت أيضاً حكراً على نكليوتيدات RNA، ARN. **(يرى مؤلف هذا الكتاب أن بحوث المستقبل قد تبرهن على أن تسلسلات محددة من DNA، ADN ، تستطيع بمشاركة بروتينات معينة، تعمل كحامل (أي أن هذه التسلسلات وهذه البروتينات تشبه الـريـبـوزيمات)، تسـتـطيع هذه التسلسلات أن تعمل كأنزيمات تحلمه DNA، ADN نـفسه. وستسمى عندئذ الريبوزيمات منزوعة الأكسجين désoxiribozymes,deoxyribozymes «الديوكسي ريبوزيمات»**.

لقد تمت هذه الخطوات كلها نتيجة حدوث تطور موجه ذو معنى، وحتمي، لا مكان للمصادفة فيه، توجه حتميته قوانين الطبيعة، وثوابتها (القوى الطبيعية الأربع، وبخاصة القوى اللاتكافؤية الأربع، أداة الانتقاء الطبيعي، حيث توجه هذه القوى تفاعل الجزيئات وتآثراتها، وتحدث هذا الانتقاء) التي هي إرادة الله، تقيم الحياة الذكية كي تجعل من الإنسان خليفة الله في الأرض، ﴿وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لا تَعْلَمُونَ﴾ [سورة البقرة: **2/ 30**]. **وكما عرضنا غير مرة، فإن هذا التطور الموجه والحتمي سار باستمرار من الأبسط إلى الأعقد من حيث البنية، ومن الأقل إلى الأفضل كفايةً وأداءً من حيث الوظيفة، كما اتجه دوماً بعكس الشوش، وضد الأنتروبية، وتخطى في ظروف انفجاره الأعظم (من حيث صغر الركام الكمومي، ودرجة حرارته) قوانين الطبيعة نفسها**.

في إثر هذا العرض المكثف للموضوعات التي استهدفتها فصول هذا الكتاب، والتي تأتت معارفها من أبحاث ودراسات، أُجريت في القرن الأخير من الألفية الثانية، وبالنظر إلى أننا بصدد بيولوجيا القرن الحادي والعشرين (التي ستكون قطعاً مختلفة من حيث طبيعة أبحاثها، والهدف من إجراء هذه الأبحاث)، علينا، والحالة هذه، أن نعرض، وقبل الخوض بتفاصيل هذه البيولوجيا، لمصادر إنتاج المعرفة، وطبيعة هذه المعرفة، التي ستسود أبحاث القرن الحادي والعشرين ودراساته. وعلينا أن نسرع إلى القول، وبأسف شديد، إن معظم هذه الأبحاث والدراسات، ستكون مجردة من معظم القيم الإنسانية، التي تتصف بها عادةً المعرفة.

فمنذ أيام «أرسطو» وحتى أواسط القرن الماضي، كانت المعرفة تُنتج في الجامعات والمعاهد الأكاديمية، وكان إنتاجها هدفاً بحد ذاته، غايته فهم الطبيعة وقوانينها، وما ينتج عن ذلك من تحسين لحياة الإنسان، وعدم الإيذاء ببيئته. وإذا كان يصح ذلك في ما يتعلق بالعلوم كافة، فإنه ينطبق أكثر على العلوم البيولوجية. ولكن ما إن اكتُشفت بنية DNA، ADN ذات الحلزون المزدوج، وصلابة هذا الحلزون، وما إن تم تعرف أنزيمات التقييد، وأتاحت التقنيات تنقيتها، واستعمالها، وما إن تم اكتشاف إمكان نقل جين من كائن حي إلى آخر (الهندسة الجينية) في مطلع سبعينات القرن الماضي، حتى شعر البيولوجيون الجزيئيون والكيميائيون الحيويون بسعادة غامرة. كان مصدر هذه السعادة ذا شقين :

1. إمكان الاستغناء عن التعامل مع البروتينات الهشة سريعة العطب، وذات التنوع الكبير والبنية شديدة التعقيد، حيث يتطلب العمل عليها شروطاً مخبرية دقيقة جداً إذا ما قورن ذلك بحلزون DNA، ADN المزدوج.

2. استعمال الهندسة الجينية لأغراض مادية، تتمثل في إنتاج كميات كبيرة من مواد دوائية بروتينية باهظة الثمن، وإجراء معالجات جينية، يتم فيها تصحيح أمراض وراثية باستبدال جينات سوية بجينات معيبة. وكذلك إمكان تحضير لقاحات جينية، تصون الجسم من العوامل الممرضة. كان هذا الشق الثاني السبب الرئيس في تأسيس مراكز أبحاث خاصة لا أكاديمية [92]، هدفها الأساسي إنتاج هذه المواد الدوائية، وغيرها من البروتينات (أنواع الأنترفيرون وهرمونات النمو والأنسولين البشري والعامل المضاد للألفا تربسين وعامل تخثر الدم IX وغيرها من البروتينات). كما تسابق الباحثون في تسجيل نتائج أبحاثهم على شكل براءات اختراع حتى قبل وصولها إلى المرحلة التي تؤهلها إلى ذلك [93] وقامت بين الباحثين وبين الجامعات وبين مراكز البحث العلمي اللاأكاديمية صراعات ودعاوى قضائية عديدة، وذلك في منازعاتهم حول أولوية ملكية الاكتشاف العلمي (وسنعرض إلى إحدى هذه الدعاوى في نهاية هذا الفصل). حتى أن حالات وفاة المرضى (نتيجة إجراء المعالجة الجينية) أُبقيت طي الكتمان، ولم يتم الإعلان عنها كما تنص على ذلك صراحةً أنظمة معاهد الصحة الوطنية (NIH) الأمريكية[94]. وعوضاً عن المناخ العلمي الصحيح والمفتوح (حيث كان الباحثون يتبادلون في فترات الاستراحة، وفي الممرات، في ما بينهم، ومع طلبتهم، المعلومات العلمية، وما استجد من اكتشافات)، عوضاً عن ذلك، ساد التكتم، وتفشت الريبة، وانعدمت الثقة، وتفاقمت مشاعر الحسد والغيرة، وتراجع الاهتمام بالبحوث الأساسية (والنظرية منها خاصة)، وانهمك معظم المختبرات بإنتاج معارف تطبيقية، تجهد لتجد لنفسها موطئ قدم في اقتصاد السوق.

ويرجع، في رأينا، السبب في كل هذا الخلل في مصادر إنتاج المعرفة، وطبيعة هذا النتاج، إلى قيام تحالف (ولأول مرة في تاريخ العلوم) بين الاقتصاد - رأس المال - وبين العلم. وبدهي أن يكون هذا التحالف (غير المتوازن أساساً) لمصلحة الاقتصاد. وبالنظر إلى ضرورة استمرار التقدم العلمي خدمةً (أخلاقية وتاريخية) لرفاهية النوع البشري، وتحسيناً لبيئته، أو الحد (على الأقل) من إلحاق الأذى بها، فإن البعض يتساءل ما إذا كان من الواجب إيقاف هذا التقدم، وهو تساؤل لا عقلاني بطبيعة الحال، ذلك أن الفضول العلمي جزء أساسي في تكوين ذاكرة الإنسان. ومع هذا، فإن سبعة وعشرين من حملة جائزة نوبل قد أجمعوا (بالتوقيع على وثيقة) على أنه يجب التبصر قبل التصرف[95].

9 . 2 . الإرث الجيني البشري (الجينوم البشري)

من المعلوم أن لكل نوع في الطبيعة عدداً من الصبغيات (الكروموزومات) تخصصه، وتمنحه صفة النوعية، وتؤدي دوراً رئيساً في قيام الحواجز بين الأنواع (أي تعذر إخصاب بيضة نوع بنطفة نوع آخر). وكما كنا عرضنا (يُرجع إلى الفقرة 6.7)، فإن جسم الإنسان البالغ يتألف من 100 ألف مليار خلية، تحوي كل واحدة منها (ما عدا الكريات الحمر الناضجة) 44 صبغياً جسدياً، وصبغيين جنسيين (XX في الأنثى، وYX في الذكر). ويأتي 22 صبغياً جسدياً من الأم، إضافة إلى أحد الصبغيين X. أما من الأب، فيرث المرء أيضاً 22 صبغياً جسدياً (تماثل تماماً أقرانها من الأم)، والصبغي الثاني X في

92. Pestre , D., La Recherche **326** , 55- 52 (1999).

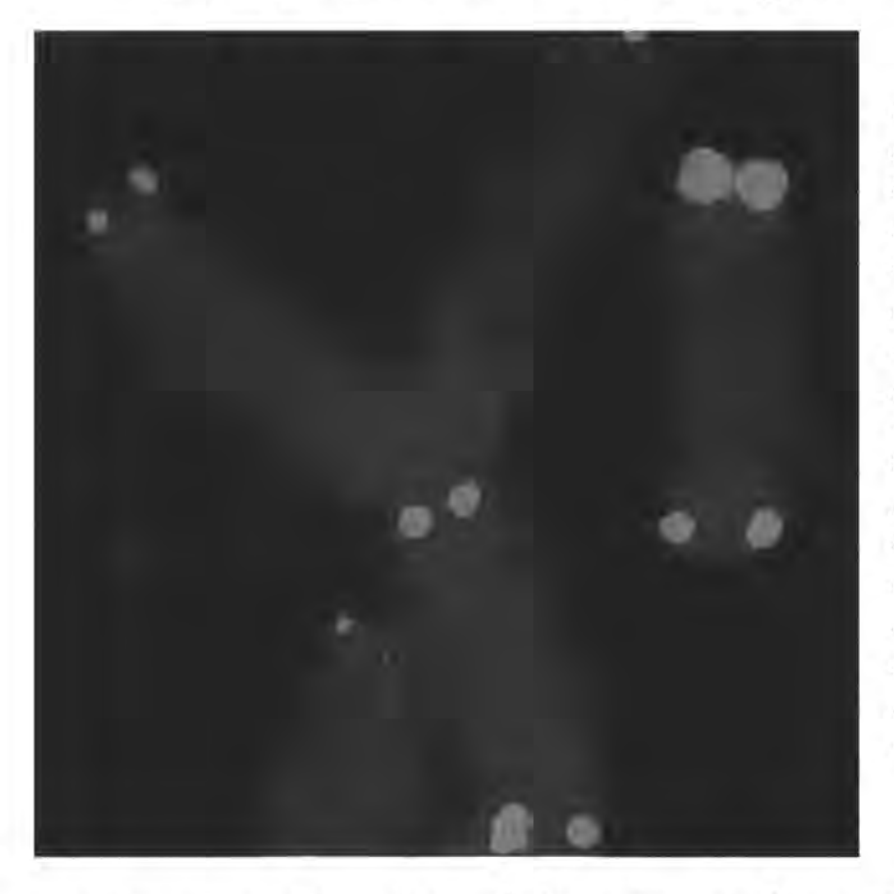
93. Beardsly , T., Scientific American , **January** (2000) 30-32.

94. Editorial, Nature **402**, 107 (1999).

95. Editorial , La Recherche , **308** , 5 (1998).



حالة الأنثى، أو الصبغي Y في حالة الذكر. وهنالك من الأدلة ما يشير إلى أن الصبغي Y اشتق أصلاً من الصبغي X في إثر تحويرات طرأت على هذا الصبغي الأخير، أفقدته جزءاً كبيراً نسبياً من بنيته. هنالك إذاً نوع واحد من البيوض، ونوعان من النطاف. إن جينوم الإنسان يتألف من 22 صبغياً جسدياً، ومن صبغي جنسي واحد. ولقد أعطيت الصبغيات الجسدية أرقاماً وفقاً لأطوالها، فالصبغي رقم 1 هو الأطول، والصبغي رقم 21 هو الأقصر، في حين أن الصبغي الجسدي الأخير ذا الرقم 22 أطول قليلاً من الصبغي 21 (الشكل 1.9). وأصغر الصبغيات هو الصبغي Y. هذا، ونود أن نلفت انتباه القارئ إلى ضرورة الرجوع إلى الشكل 18.7 للإطلاع على معلومات مهمة عن صبغيات المجموعة الفردانية البشرية.



الشكل 1.9. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لنسخ من الصبغي البشري 22، أحدها تراكب مع صبغيين آخرين. لاحظ كيف أن كل صبغي يحمل في نهايتيه (كنهايات الصبغيات كافة) شفعين من بقع لونت بالأصفر هي القُسَيّمات الانتهائية أو التيلوميرات (يُرجع إلى نهاية الفقرة 8.4، وإلى الشكلين 8.39-أ، و 8.39-ب). كما أننا نلفت انتباه القارئ إلى ضرورة الرجوع إلى الشكل 18.7 للاطلاع على مخطط ترسيمي لصبغيات المجموعة الفردانية للإنسان وذلك لمقارنة هذه الصبغيات من حيث الأشكال والأطوال والسَلسَلة، وللوقوف على معلومات مهمة أخرى [عن Biotech Lab Interna.1-2(2000)، الشكل الافتتاحي، ص. 1].

ويتألف الصبغي، كما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الفقرة 7.6 أيضاً) من DNA، ADN، وبروتينات الهستونات الخمسة. ويبلغ عدد نكليوتيدات DNA، ADN قرابة 3×10^9 شفع (أو زوج) من النكليوتيدات للمجموعة الفردانية (أي 22 صبغياً جسدياً، وصبغي جنسي واحد). فإذا كان وزن هذه المجموعة 6 بيكوغرام (البيكوغرام جزء من ألف مليار جزء من الغرام) أو 6×10^{-12} غراماً، فإن الخلية الواحدة تحوي 12 بيكوغراماً، ويحتوي جسم الإنسان (الذي يتألف من 10^{14} خلية تقريباً) 1200 غرام من DNA، ADN (أي $12\times10^{-12}\times10^{14}=1200$ غرام). وإذا كان طول النكليوتيد الواحد يساوي 0.34 مكروناً (أو 3.4 أنغستروم، ويساوي المكرون جزءاً من مليار من المتر، أو 10^{-9} متر)، فإن طول صبغيات الخلية الواحدة يبلغ 2.04 متراً تقريباً (أي $0.34\times10^{-9}\times3\times10^{9}\times2=2.04$ متراً تقريباً). يمكننا أ، نستنتج إذاً أن طول حلزونات DNA، ADN خلايا جسم الإنسان البالغ، تستطيع أن تلف

حول خط استواء الأرض (الذي يبلغ قرابة 40 ألف كيلومتر) 5.1 مليون مرة تقريباً. وإذا علمنا أن الكوكب بلوتو يبعد عن الشمس 5 900 مليون كيلومتر، وإذا علمنا أيضاً أن الشمس تقع تقريباً في مركز إهليلج مدارات كواكب الشمس (بما في ذلك بلوتو الذي هو أبعد كوكب في هذه المجموعة عن الشمس)، فإن طول حلزونات DNA، ADN جسم الإنسان (التي يصل طولها إلى 204 مليار كيلومتر) يبلغ 17.3 مرة قطر إهليلج المجموعة الشمسية (أي $2.04 \times 10^{-3} \times 10^{14}$ على $11.8 \times 10^{9} = 17.3$). وتجدر الإشارة أخيراً إلى أن قرابة نصف تسلسلات DNA، ADN الإنسان هي تسلسلات تكرارية repetitive ، répetitive، أي أن تسلسلاً معيناً من النكليوتيدات يتكرر عدداً من المرات. ويطلق على هذه التسلسلات التكرارية اسم السواتل (مفردها ساتل). فهنالك سواتل كبيرة (أي أن عدد نكليوتيدات التكرارية الواحدة كبير نسبياً، يفوق 50 نكليوتيداً، وتتكرر التكرارية الواحدة عدداً كبيراً من المرات). وهنالك سواتل صغيرة (يتراوح عدد نكليوتيدات التكرارية الواحدة ما بين 10 و 30 نكليوتيداً)، وأخرى صِغرية (مكروية)، تتكرر التسلسلات فيها عدداً ضئيلاً من المرات، قد يتراوح هذا العدد ما بين عشر مرات وثلاثين مرة، ويمكن أن يتراوح عدد النكليويتدات في التكرارية الواحدة ما بين 2 و 6 نكليوتيدات. وبالإضافة إلى أهمية السواتل الصِغرية (كنقاط تَعرّف) في تقانة سلسلة DNA، ADN (كما سنرى في الفقرة التالية)، فإن هذه السواتل أدّت (بسبب سهولة طفر نكليوتيداتها) دوراً مهماً في تكيف بدائيات النوى (البكتيريا ـ الجراثيم ـ على وجه التخصيص) مع تغيرات البيئة، وضبط معدلات الانتساخ في حقيقيات النوى (ومن ثم كمية البروتينات التي يتم تركيبها) [96]. علماً بأن البعض يعتقد تسبب السواتل الصِغرية ببعض الأمراض العصبية (كداء هنتنغتُن Huntington). ويُعزى ذلك إلى الزيادة التي طرأت على حجم دماغ الإنسان (ازداد حجم هذا الدماغ منذ ثلاثة ملايين عام ـ تاريخ ظهور الإنسان البدائي ـ حتى الآن ثلاث مرات تقريباً). وأتت الأمراض العصبية التي تصيب دماغ الإنسان الحالي (بسبب كثرة السواتل الصِغرية) كثمن لهذه الزيادة في حجم الدماغ.

ولكن على الرغم من هذا الكم الكبير من DNA، ADN (3×10^{9} شفع ـ زوج ـ من الأسس في المجموعة الفردانية)، فإن إرثنا الجيني (كجينات يعبر عنها، أو كنمط ظاهر) لا يزيد على 5 في المئة من تسلسلات DNA، ADN، (وهذا ما يعادل 1.5×10^{8} شفع من الأسس). ويُقدر حالياً عدد الجينات المسؤولة عن نمطنا الظاهري (أكثر من ثمانمئة من الأنماط الخلوية الرئيسة أو النسج، تشكل خصائصنا كلها، بدءاً من لون الشعر، ولون قزحية العين، وأبعاد الجسم، حتى بعض أنماط السلوك، ويرى البعض أيضاً أن عواطفنا ومشاعرنا وذكاءنا وفرحنا واكتئابنا، وحتى طول آجالنا مرمَّزة في جينات خاصة [97]، موضوع سنعرض له بعد قليل)، يقدر إذاً عدد هذه الجينات بما يقرب من 30 ألف جين. يمكن الاستنتاج مما سبق أن متوسط طول الجين هو 5000 شفع من الأسس. ولكن هنالك جينات أقصر من ذلك بكثير (كالجين الذي يرمّز الأنسولين الذي يفرزه البنكرياس، والذي يلعب دوراً مهماً في مستوى تركيز الغلوكوز ـ السكر ـ في الدم). كما أن هنالك جينات أطول من ذلك بكثير (كجين اللزاج المخاطي الذي يسبب المرض المعروف بهذا الاسم). ونذكر كمثال على جين متوسط الطول جين السلسلة بيتا من الهيموغلوبين البشري، حيث يبلغ طوله (ما عدا المحضض) 1 418 نكليوتيداً، ويبلغ مقدار ما هو مرمَّز منها (الإكسونات) 438 نكليوتيداً، ويشكل ما تبقى الإنترونات غير المرمَّزة،

96. Moxon , E.R. and Wills, Ch., Scientific American , **January** (1999) 94 - 99.

97. Lewontin, R.C. et al.,"**Not In Our Genes**", Pantheon Books, New York (1984).

التي تُقطع في معظمها بعملية التجديل، لتنحل في العصارة النووية (يُرجع إلى الفقرة 7. 4. 1 والحاشية 7. 6 وإلى الفقرة 7. 4. 2 والحاشية 7. 9). ويمكن اختزال عدد الإكسونات في الكائنات الحية كلها إلى ما بين ألف وسبعة آلاف إكسون فقط [50] (يُرجع أيضاً إلى الحاشية 7. 9). ولقد تم حتى الآن (حزيران-يونية-2003) تعرف قرابة 30 ألف جين، بعضها مسؤول عن أمراض وراثية تصيب الإنسان. ويتم تعرف جين من الجينات بتقنيات معقدة، تبدأ بما يعرف بتشكيل المكتبة الجينومية. إذ تقطع حلزونات كل صبغي من صبغيات الإنسان بأحد أنزيمات التقييد restriction enzymes، enzymes de réstriction (بعد تعرية DNA، ADN من بروتينات الهستونات) إلى آلاف القطع (9. 1)، ثم سَلسَلة كل قطعة على حدة. وأتى تعبير المكتبة الجينومية من فكرة أن جينات الإنسان (ويبلغ عددها قرابة 32 ألفاً) تتوزع على 23

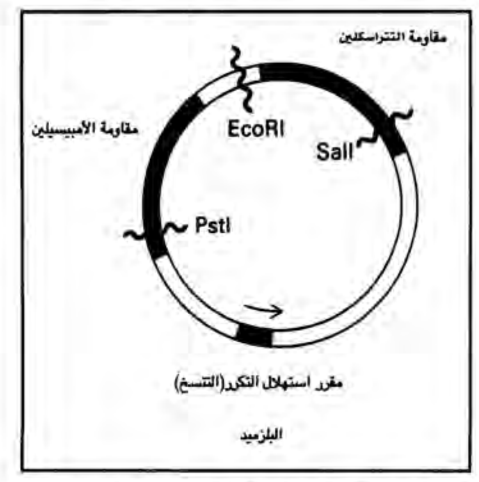
(9.1) يهدف «مشروع الجينوم البشري» [Human Genome Project (HGP), Project de Génome Humain]، الذي بدأ رسمياً في عام 1990، ويتوقع أن ينتهي في العام 2005، وربما قبل ذلك (لقد انتهى قسم أساسي منه عام 2000)، يهدف إلى تعرف كامل الجينوم البشري. إنه جهد عالمي غير استثماري، يمول من ميزانيات الدول، وتتشارك فيه أوروبة، والولايات المتحدة، وكندا، واليابان. وقُدرت كلفته الأولية بنحو 3 مليارات دولار (أي دولار واحد لكل شفع ـ زوج ـ من النكليوتيدات). ومع تقدم تقنية أجهزة السَلسَلة (المُسلسِلات)، والرحلان الكهربائي، والحواسيب، هبطت الكلفة حالياً إلى ما يقارب العُشر (أي 0.1 دولار ـ عشرة سنتات ـ لكل شفع من الأسس). ويتم تعرف الجينات خلال أربع مراحل، توضع في كل منها خريطة للجينوم. وتُعرف الخريطة الأولى بالخريطة الوراثية، حيث يُحدد مكان الجينات المرضية (المسؤولة عن الأمراض الوراثية)، وجينات أخرى، على الصبغيات. وتم حتى الآن تعرف ما يقارب 30 ألف جين. أما في المرحلة الثانية، فتوضع الخريطة الفيزيائية. وتتمثل هذه الخريطة بتعيين المسافات بين الجينات على كل صبغي من الصبغيات. ويتم في المرحلة الثالثة وضع الخريطة الكيميائية الحيوية، حيث تتم سَلسَلة كل جين من الجينات (أي تعرف تسلسل الحروف الأربعة: الأدنين، والغوانين، والتيمين، والسيتوزين). أمّا في المرحلة الرابعة والأخيرة، فيتم تحديد العلاقة بين الجينات المختلفة (أي تأثرات هذه الجينات فيما بينها)، وهذه هي الخريطة الفيزيولوجية.

وهنالك تقنيتان رئيستان للسَلسَلة، ولتعرف الجينات [انظر، من أجل مقارنة توضيحية بين هاتين الطريقتين Little, P., Nature **402** 467-468(1999)]. وتبدأ كلتا الطريقتين بتقطيع الصبغي إلى قطع، أو بحلمهة حلزونات DNA، ADN بإحدى أنزيمات التقييد. ثم يعمد في الطريقة الأولى إلى تنسيل القطع، قطعة قطعة (بالهندسة الجينية) في ما يعرف بالصبغيات الصنعية الخمائرية yeast artificial chromosomes (YAC), chromosomes artificiels de levure، والصبغيات الصنعية البكتيرية bacterial artifieial chromosomes (BAC), chromosomes artificial de bacterie، حيث تؤشب في صبغيات الخميرة والبكتيريا قطع ضخمة من صبغيات الإنسان، يبلغ طولها قرابة 150 كيلو أساس، فتتشكل لدينا صبغيات هجينة صنعية، يمكن تكثيرها عدداً كبيراً من المرات. كما يعتمد في السَلسَلة الخاصة بالطريقة الأولى (التي تمولها حكومات أوروبة وأمريكا وكندا واليابان ـ مشروع الجينوم البشري) على وجود تسلسلات متفردة، تستعمل كنقاط معلمية، يمكن تضخيمها بالتفاعل السلسلي للبوليميراز (PCR)، وتعرف بالمواقع الواسمة للتسلسل sequence-tagged sites (STS)، أو مواقع الحلمهة بأنزيم التقييد (الشكل 9. 2 ـ أ). ←



الشكل 9. 2 ـ أ. مخطط ترسيمي لطريقة وصل جزيئين من DNA، ADN بتقنية الهندسة الجينية (طريقة الالتحام). يحوي الجزيء الأول (الأخضر) الجينين P و Q اللذين يفصلهما مقر تعرف أنزيم التقييد EcoRI (التسلسل GAATTC)، بينما يحوي الجزيء الثاني (الأحمر) الجينين X، و Y، يفصلهما التسلسل نفسه. يتم وصل الجزيئين المأشوبين برابطة تكافؤية بوساطة أنزيم الليغاز. إن أحد الجزيئين المأشوبين يحوي الجينين P و Y، في حين يحوي الجزيء الآخر «التتامي» الجينين Q و X (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 127).

كما يفاد من واسمات التسلسلات المعبر عنها expressed sequence tags (EST)، التي توجد في cDNA، ADNc، أي DNA، ADN التتامي، الذي تم اشتقاقه من الرسيل الخاص بالجين (أو التسلسل المعني) بالانتساخ العكسي. وكما هو معلوم، فإن الرسيل ينتهي بذيل عديد الأدنيل. إن التسلسلات التي تلي هذا الذيل، إنما في cDNA، ADNc، وبالاتجاه صُعداً، هي تسلسلات يسهل تعرفها، وتعبر عن نفسها عند تركيب البروتين. لذا، أطلق عليها اسم «واسمات التسلسلات المعبر عنها» (EST). ويتم في المرحلة التالية (وبعد الحصول على شُدَف أقصر طولاً نتيجة الحلمهة بإحدى أنزيمات التقييد ايضاً) تنسيل هذه الشُدَف من جديد، بالهندسة الجينية أيضاً، في أحد الكوزميدات cosmids، cosmides (حلقة صغيرة من DNA، ADN ذي أصل فيروسي). تنسل بعد ذلك الشُدف أولاً في أحد البلزميدات (الشكل 9 . 2 ـ ب)، ومن ثم في إحدى العاثيات (العاثية فيروس يقتات على البكتيريا، ويتكاثر داخلها، ملتهماً إياها). إن الغاية في كل مرة من التنسيل هي تضخيم أعداد القطع مرات كثيرة. ويتناقص في كل تنسيل من التنسيلات الخمسة السابقة (الصبغيات الصنعية الخمائرية، والصبغيات الصنعية البكتيرية، والكوزميدات، والبلزميدات، والعاثيات) طول الشُدف المُنسَّلة من مليون شفع من الأسس إلى ألف أساس فقط، هذا بالإضافة إلى تضخيم أعداد القطع في كل تنسيل يحدث. ويلخص الجدول التالي الخطوات آنفة الذكر، التي تستعمل في الطريقة الأولى، أو طريقة التنسيل نسيلة فنسيلة (أو السَلسَلة جزئية العشوائية)، حيث يبلغ طول النسيلة الأولية الواحدة قرابة 150 كيلو أساس.



الشكل 9 . 2 ـ ب. مخطط ترسيمي للخريطة الجينومية للبلزميد pRB322 . يتألف هذا البلزميد من حلزون DNA ، ADN حلقي الشكل ، يضم قرابة 000 17 شفع (زوج) من النكليوتيدات ، ويحوي جينين : أحدهما يقاوم التتراسكلين ، والآخر الأمبيسلين ، كما يحتوي على مقرات تعرف أنزيمات التقييد التالية : SalI و Psti و BamHI و EcoRI و HindIII . يرمز الحرف الاستهلالي (الأول) من اسم الأنزيم إلى الجنس الذي ترجع إليه البكتيرة (الجرثوم) ، والحرفان الصغيران إلى النوع ، والحرف والرقم الأخيران إلى الذرية والنمط . فعندما نكتب EcoRI ، فإن ذلك يخصص الأنزيم من النمط I للذرية R للنوع القولوني coli (الذي يعيش في قولون الإنسان ، متعايشاً معه منذ ولادته تقريباً) الذي يعود لجنس الإشريكية *Escherichia* (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 128) . (انظر أيضاً الجدول 9.2)

الجدول 9 . 1. مكتبات تنسيلية لوضع خرائط الجينوم البشري، ولسلسَلتها[98] بطريقة التنسيل نسيلة فنسيلة (أو السَلسَلة جزئية العشوائية).

الحامل	رتبة حجم غرزة DNA البشري	عدد النسائل المطلوبة لتغطية كامل الجينوم البشري
الصبغي الصنعي الخمائري (YAC)	100 ـــ 000 2 كيلو أساس	000 3 (000 1 كيلو أساس)
الصبغي الصنعي البكتيري (BAC)	80 ـــ 350 كيلو أساس	000 20 (150 كيلو أساس)
الكوزميد	30 ـــ 45 كيلو أساس	000 75 (40 كيلو أساس)
البلزميد	3 ـــ 10 كيلو أساس	000 600 (5 كيلو أساس)
العاثية M_{13}	1 كيلو أساس	000 000 3 (1 كيلو أساس)

تُفصل الشُدف صغيرة الطول (ألف شفع من الأسس تقريباً) بالرحلان الكهربائي، ثم يعين تسلسل الأسس في كل شُدفة بإحدى التقنيات الأكثر سرعة (إما بوسم كل أساس من الأسس الأربعة بصباغ نوعي، يتألق بأشعة الليزر بلون محدد، أو باستعمال الفسفور المشع-32 لوسم النكليوتيدات الطرفية، أو بوساطة الرحلان الكهربائي الشعري، أو بالمقياس الطيفي [99-103]). ويتم تحديد أمكنة الشُدف على الصبغي

98. Venter, J. C. et al., Nature **381** , 364 - 366 (1996).
99. Weissenbach , J., Science **274** , 479 (1996).
100. Schuler , G.D. et al., Science **274**, 540 - 546(1996).
101. Köster , H. et al., Nature Biotechnology **14**, 1123 - 1128 (1996).
102. Smith , L. M., Nature Biotechnology **14** , 1084 - 1087 (1996).
103. Waterston, R. and Suiston , J.E. , Science **282** , 53 - 54 (1998).

← بطريقة التراكب overlapping، chevauchement، حيث تتم مقابلة تسلسلات نهايتي كل شدفة بنهاية شدفة ما وبداية شـــدفة أخرى (الشكل 3.9) [هذا، ويمكن الرجوع، للوقوف على تفصيلات أوسع بالعربية، إلى المقالة لموسومة بالعنوان : «**اكتشاف جينات لإنتاج عقاقير جديدة**»، تأليف «هازلتاين»، «مجلة العلوم» (الكويت) المجلد **13** ، العدد **5** مايو (أيار) 34 ـ 39 (1997)] . ←



الشكل 3.9 ـ أ . مخطط ترسيمي لتعرف النكليوتيدات الطرفية لكل شدفة بطريقة التراكب [عن «هازلتاين»، «مجلة العلوم» (الكويت) ، المجلد **13** ، العدد **5** ، مايو (أيار) ، ص. 35 (1997)] .

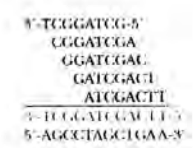
3′-TCGGATCG-5′
CGGATCGA
GGATCGAC
GATCGACT
ATCGACTT
3′-TCGGATCGACTT-5′
5′-AGCCTAGCTGAA-3′

الشكل 3.9 ـ ب . تمثيل طريقة التراكب بالتهجين لاستنتاج تسلسل ما من DNA ، ADN . نفترض أن لدينا قليل نكليوتيد مجهول التسلسل يتألف (للتبسيط) من 12 نكليوتيداً (التسلسل الأحمر كي نجعل المثال واقعياً) . نضيف إلى محلول قليل النكليوتيد هذا مجموعة كاملة من مسابير ، يتألف كل منها من ثمانية نكليوتيدات . إن خمسة تسلسلات فقط من أصل 536 65 (أو 4^8) تسلسلاً من تسلسلات ثماني النكليوتيد، تشكل هجائن مع التسلسل ذي الاثني عشر نكليوتيداً (لأن التامية ، أي تشكل حلزون «واتسون ـ كريك» ، لا ترسخ إلاّ إذا حدثت بين ثمانية نكليوتيدات على الأقل) (التسلسلات المسبارية السود) . يمكننا الآن أن نقرأ التسلسل كاملاً بطريقة التراكب (النكليوتيدات الأربعة في النهايات 5 رئيسة ـ 5 ـ من النكليوتيدات الخمسة المتراكبة ، أي النكليوتيدات A وC و T و T) (التسلسل الأخضر المتمم للتسلسل الأصل الأحمر) (عن Stryer,1995 المرجع30، ص. 126). ونلفت نظر القارئ إلى المقالة الموسومة بالعنوان : « **اكتشاف جينات لإنتاج عقاقير جديدة** » ، « مجلة العلوم » (الكويت) ، المجلد **13** ، العدد **5** ، مايو (أيار) ، الصفحات 34-39 (1997) لاحتوائها على طريقة مبسطة لتقنية التراكب (أي المرجع الوارد في الشكل السابق 3.9-أ) .

← أما التقنية الثانية، فلا يستعمل فيها التنسيل، بل السَلسَلة العشوائية للقطع كلها (فهي إذاً أكثر سرعة، إنما أقل دقة من التقنية المدرسية السابقة جزئية العشوائية)، وهي تموَّل برأس مال خاص، وتقوم على ما أطلق عليه اسم«السلسلة العشوائية لكامل الجينوم» random whole-genome shotgun sequencing . وتفيد هذه التقنية مما يعرف بواسمات التسلسلات المعبر عنها expressed sequence tags (EST)[104] التي يُفاد منها في الطريقة الأولى أيضاً. وتتم في بداية هذه التقنية حلمهة كامل الجينوم بأحد أنزيمات التقييد، كما يستعمل فيها 230 مسلسلاً من المُسلسلات العملاقة، التي طورتها وصنعتَّها شركة «بيركن ـ ألمر أبلايد بيوسيستم» Perkin Elmer Applied Biosystms المعروفة، لحساب شركة«سيليرا» Celera (وتعني باللاتينية السرعة، وشعارها: «الاكتشاف لايمكن أن ينتظر»!) التي يرأسها الباحث «كريغ فنتر» J. Craig Venter، الذي طور هذه التقنية (وأنجز بوساطتها خرائط جينومية لعدد من البكتيريا، ومؤخراً لذبابة الفاكهة التي يبلغ حجمها 180 مليون شفع من الأسس)، ويعتقد هذا الباحث أنه سينجز مشروع الجينوم البشري بضعة أعوام قبل موعده (أي قبل العام 2005 وهذا ماتم فعلاً). وكما سبق أن أشرنا، فإن الطريقة الأولى جزئية العشوائية (وبسبب عمليات التنسيل) أطول زمناً، ولكنها تفوق التقنية الثانية من حيث الدقة[105]. ويكمن الفرق المهم والخطر الذي يميز التقنيتين عن بعضهما في أن أصحاب الطريقة الأولى يضعون نتائجهم فوراً في بنك الجينات GenBank دونما أي مقابل، في حين أن«كريغ فنتر» وشركاءه يصرّون على تسجيل تسلسلاتهم ببراءات اختراع تباع بثمن مقابل، ولا تعطى مجاناً (خلافاً لـ«اتفاقية برمودا» التي تنص على حرية الوصول مجاناً إلى تسلسلات الجينوم البشري، ووقع عليها «فنتر» نفسه). ولقد تضمن«مشروع الجينوم البشري» العمومي اتفاقاً يقضي بتعرف كل نكليوتيد عشر مرات (أي * 10) حتى يصبح موقعه موثقاً.

وتعد أنزيمات التقييد أحد أركان تقنية تاشيب DNA، ADN، ولولا هذه الأنزيمات لكان من الصعب قيام تقانة الهندسة الجينية، ومن ثم مشروع الجينوم البشري، وتكوين كائنات محورة جينياً، وكل ما يتعلق ببيولوجيا القرن الحادي والعشرين، وما كان لولاها لبعض البيولوجيين أن يغدو ثرياً. وتوجد هذه الأنزيمات في البكتيريا (الجراثيم)، وتعمل فيها كجهاز دفاعي (مناعي) ضد أنواع DNA، ADN غير الملائمة للبكتيرة، فتقطعه أنزيمات التقييد إلى شُدف، يسهل التخلص منها. ويوجد في كل أنزيم تقييد من هذه الأنزيمات، كأي أنزيم آخر، مقر فعال active site، site actif، يتعرف قسماً محدداً تماماً من جزيء الركيزة substrate ، substrat. وتتمثل الركيزة في حالتنا هذه بتسلسل نوعي من تسلسلات ADN,DNA وأحياناً (ARN,RNA) ويُعرف هذا التسلسل بمقر التعرف recognition sit, site de réconnaissance. ويكون عدد←

104. Beardsley , T., Scientific American , **August** (1998) , 30 - 32.
105. Pennisi , E., La Recherche **318** , 40 - 43 (1999).

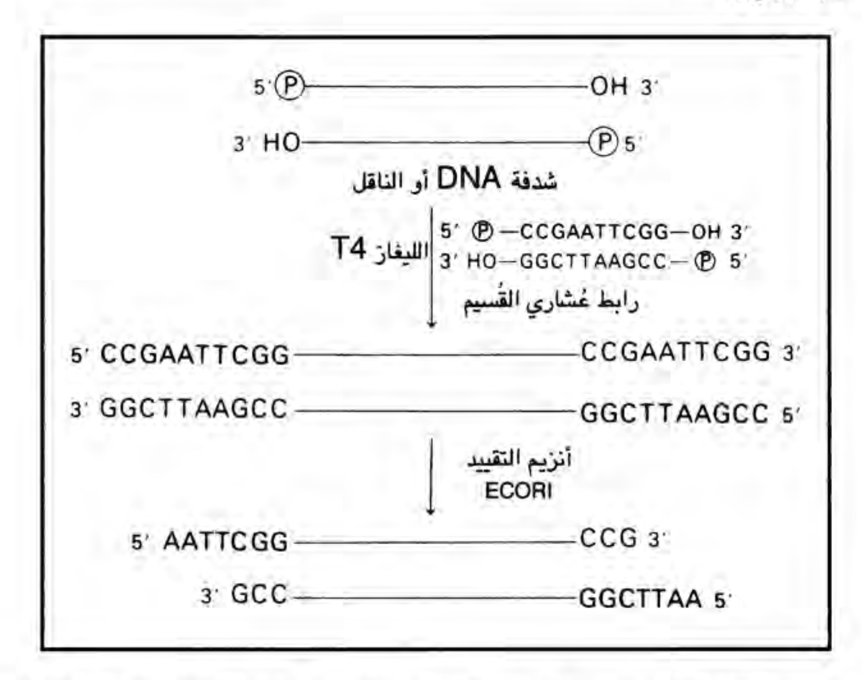


← نكليوتيدات مقر التعرف دائماً شفعياً: إما أربعة، أو ستة، أو ثمانية. وكلما كان عدد نكليوتيدات مقر التعرف أكبر كلما قلّ وجوده في حلزون DNA، ADN، وكلما كَبُر طول الشُدف الناتجة عن الحلمهة. فمقر تعرف يتألف من أربعة نكليوتيدات، يصادف احتمالياً مرة كل 256 نكليوتيداً (أي 4^4، أو عدد أنواع الأسس مرفوعاً لقوة تساوي عدد نكليوتيدات مقرات التعرف)، ويصادف مقر تعرف طوله ستة نكليوتيدات مرة كل 4^6 نكليوتيد (أي مرة كل 096 4 نكليوتيداً)، ويصادف مقر تعرف طوله ثمانية نكليوتيدات مرة كل 4^8(أي مرة كل 536 65 نكليوتيداً). ومع أنه توجد أنزيمات من النمط الأخير، وتؤدي إلى عدد قليل من مجلدات المكتبة الجينومية (عدد قليل من شُدف ADN,DNA) يسهل البحث فيها، فإن أغلب ما يستعمل في الهندسة الجينية أنزيمات تقييد، يبلغ عدد نكليوتيدات مقرات تعرفها ستة. وعلى ما يبدو، فإن نوعية تسلسل نكليوتيدات البلزميدات التي ستؤشّب فيها الشُدف هي التي تفرض ذلك (يُرجع إلى الشكل 2.9 - أ). وغالباً ما يؤدي القطع إلى تشكل نهايتين حادتين لشريطتي الحلزون (أي إذا كان تسلسل مقر التعرف هو GAATTC، وكانت الحلمهة ستتناول الرابطة الإسترية بين الغوانين الأول والأدنين والثاني نُزلاً، فإن الحلمهة ستتناول الرابطة نفسها في الشريطة المتممة، أي التسلسلCTTAAG، إنما صُعداً. وهكذا تتشكل لدينا نهايتان، هما : -AATTC / CTTAA- إن هاتين النهايتين المدببتين، تساعدان على الالتحام بنهايتين مقابلتين، قُطعتا بالأنزيم نفسه، كما أنهما تمتّنان هذا الالتحام. ونادراً ما تستعمل أنزيمات تؤدي إلى تشكل نهايتين مثلومتين (لزجتين). وغالباً ما تتشكل النهايتان المثلومتان لدى الحلمهة ببعض الأنزيمات التي يتألف مقر التعرف الخاص بها من أربعة نكليوتيدات، كالتسلسل AGCT ؛ حيث تُحلمه الرابطة الإسترية بين الغوانين الثاني والسيتوزين الثالث نُزلاً. ويحدث الأمر نفسه في الشريطة المتممة) ACGA ، بين الغوانين الثاني والسيتوزين الثالث، إنما صُعدا)، فتتشكل النهايتان : -AG / -TC) ، أو النهايتان : -CT / -GA . إن كلا نوعي النهايات لا يساعد على الالتحام المتين. هذا، ويبين الجدول 2.9 خصائص بعض أنزيمات التقييد←

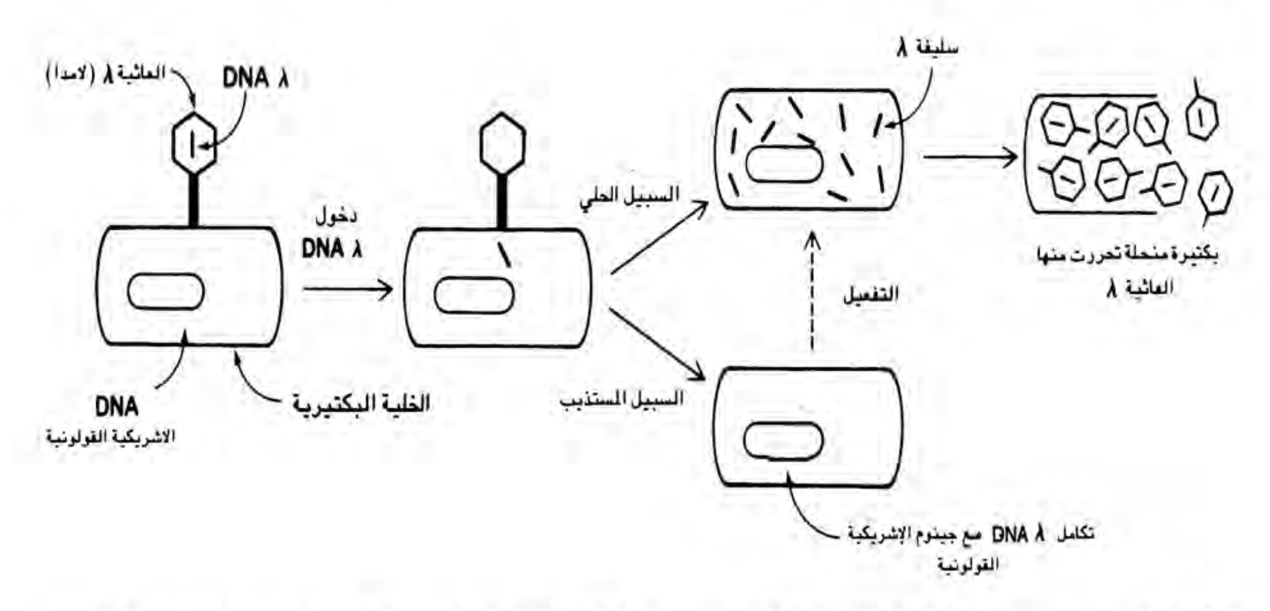
الجدول 2.9. رموز بعض أنزيمات التقييد، ومصادرها، ومقرات التعرف والشطر [66]

الأنزيم	المصدر (البكتيرة)	مقر التعرف والشطر
EcoRI	*Escherichia coli* الإشريكية القولونية	GAATTC CTTAAG
BamHI	*Bacillus amyloliquifaciens* العصوية مميعة النشاء	GGATCC CCTAGG
Hind III	*Haemophilus influenzae* النزلة الوافدة	AAGCTT TTCGAC
Sa/I	*Streptomyces albus* المُتسلسلة البيضاء	GTCGAC CAGCTG
HhaI	*Haemophilus haemolyticus* النزلة حالة الدم	GCGC CGCG
Hae III	*Haemophilus aegyptius* النزلة المصرية	GGCC CCGG

←النمطية شائعة الاستعمال. كما أن الأشكال 9.4 و 9.5 و 9.6 و 9.7 تبسِّط (بالإضافة إلى الشكلين 9.2 و 9.3) تقنيات الهندسة الجينية، والتنسيل، وتشكيل المكتبة الجينومية.

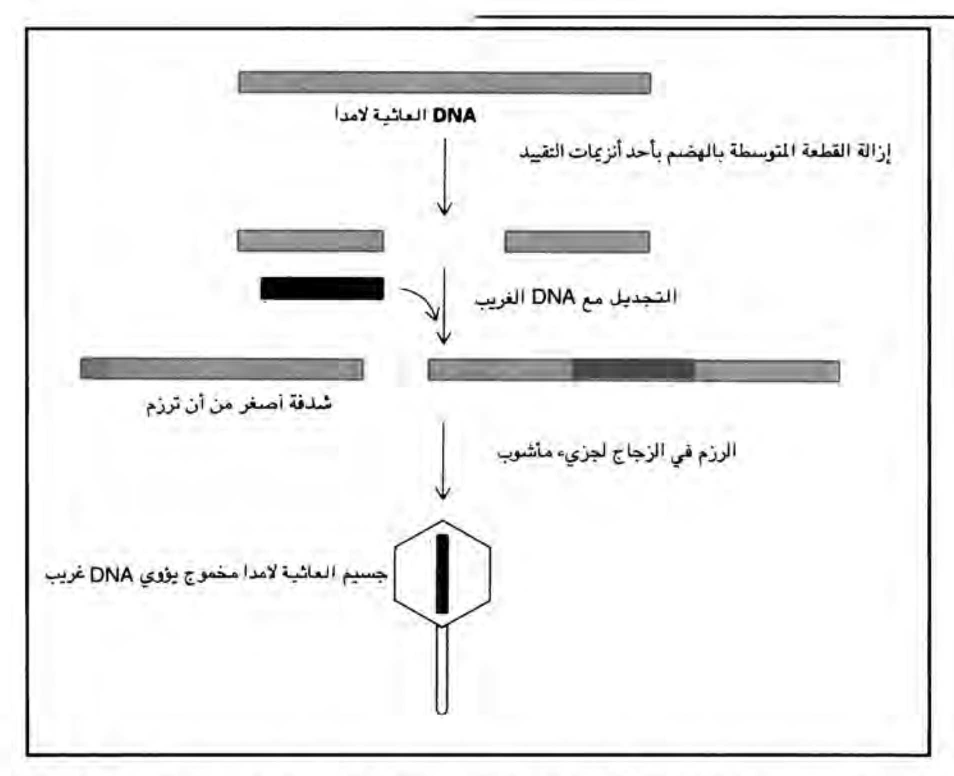


الشكل 9.4. مخطط ترسيمي لطريقة تشكيل نهايتين التحاميتين (يُرجع إلى الشكل 9.2 - أ) بإضافة رابط تم تركيبه كيميائياً، وبشطر هذا الرابط (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 127).

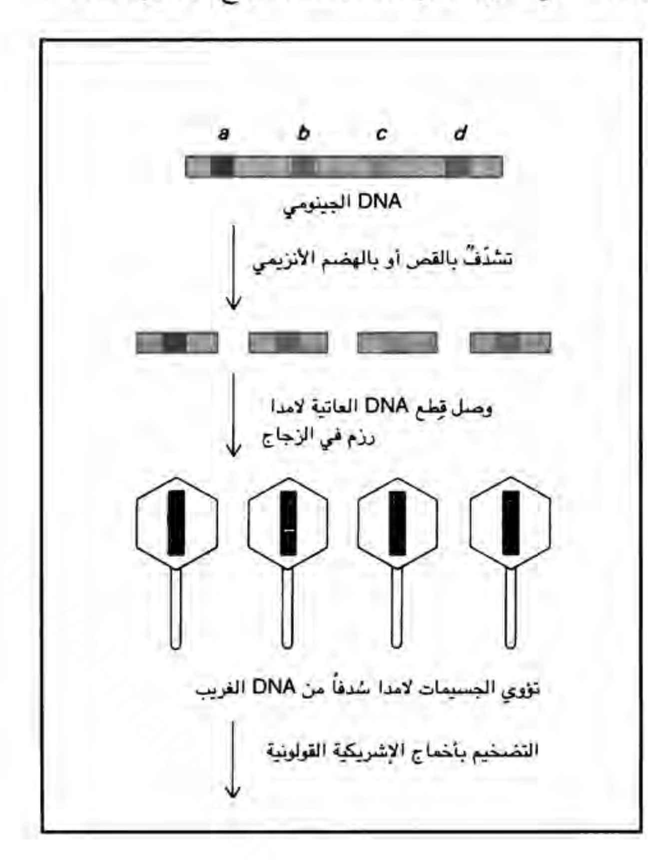


الشكل 9.5. مخطط ترسيمي لتكاثر العاثية لامدا (العاثية فيروس يلتهم البكتيريا - الجراثيم) ضمن البكتيرة المضيفة، حيث تعمد العاثية فيما بعد إلى حلها (السبيل الحلّي)، أو أن DNA ، ADN الخاص بالعاثية يتكامل مع جينوم البكتيرة المضيفة (السبيل المولد للحل)، حيث تبقى العاثية هاجعة حتى تُفَعَّل، فتشرع بالتكاثر، سالكة السبيل الحلّي. ولقد أوردنا هذا الشكل بسبب أهمية العاثيات في الهندسة الجينية (عنStryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 128).





الشكل 6.9. مخطط ترسيمي يوضح التقنية التي تُستعمل فيها العاثية لامدا (بشكلها الطافر) كحامل للتنسيل . يمكن استعمال سيرورة خاصة للارتزام بحيث يتم انتقاء جزيئات من ADN,DNA تحتوي على الغرزة ذات التسلسل المطلوب (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 129)



الشكل 7.9. مخطط ترسيمي لإنشاء مكتبة جينومية باستعمال كـامـل جـيـنـوم كـائـن حـي حقيقي النواة وحيد الخلية أو عديـد الخلايا، حيث يتم تقطيع تسلسلات DNA ، ADN إلى شدف صغيرة نسبياً (إما بالقص الميكانيكي أو بالحلمهة الأنزيمية بأحد أنزيمات التقييد)، وربط الشدفة الواحدة بتسلسل محدد من DNA ، ADN المستخلص من العاثية لامدا ، ثم تنسـيل (تكثير) العاثية للحصـول على عدد كـاف من نسخ التسلسل المطلوب، يكفي لإجراء عمليات السَّلسَلة (يُرجـع إلى الجـدول 1.9) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص . 130) .

صبغياً، وتمثل موضوعاً واحداً. فإذا ما تم تقطيع DNA، ADN هذه الصبغيات بأحد أنزيمات التقييد، تنشأ لدينا مئات آلاف القطع. إنها مجلدات المكتبة الجينومية. ذلك أن هذه المجلدات مكتوبة بلغة ذات أربعة أحرف فقط (الأدنين A، والغوانين G، والتيمين T، والسيتوزين C). ويتم البحث عن هذه الجينات كما يفتش القارئ عن موضوع ما في مجلدات مكتبته. فالجين هو الموضوع، يرمِّز رسالة (بروتين) من رسائل النمط الظاهري، حيث تنسخ الرسالة عن الجين على شكل حمض نووي ريبي رسيل mRNA، ARNm، تترجم رموزه فيما بعد إلى الرسالة المعنية. وبدهي أنه كلما قل عدد المجلدات (زاد طول قطع DNA، ADN) كلما كان البحث أكثر سهولة.

وبالنظر إلى أن تعرف الخريطة الجينومية للكائنات الحية الدنيا (وبخاصة بدائيات النوى) أمر سهل نسبياً، وعلى اعتبار أن وضع مثل هذه الخرائط ييسر كثيراً عمليات التنسيل، فلقد تمت سَلسَلة جينوم عدد من البكتيريا، وخميرة الجعة (الفطرية السكرية الجعويَّة) *Saccharomyces cerevisiae*. كما تم الانتهاء من وضع التفاصيل النهائية للخريطة الجينومية لكل من المتصورة المنجلية *plasmodium falciparum* (عامل الملاريا) من وحيدات الخلية الحيوانية حقيقيات النوى [106] ولذبابة الفاكهة والفأر. ذلك أن هذين الكائنين (والكائنات عديدات الخلايا كافة)، تحتوي على جينات تماثل ما يوجد في الإنسان [هذا، ويمكن الرجوع، من أجل تفصيلات أوسع بالعربية عن الخرائط الصبغية، إلى المقالة الموسومة بالعنوان: «**رسم الخرائط الكرموسومية بوساطة الواسمات الدنَّاوية**»، تأليف «هوايت» و«لالويل»، «مجلة العلوم» (الكويت) المجلد **6**، العدد **4** إبريل (نيسان) 80 ـ 90 (1989)].

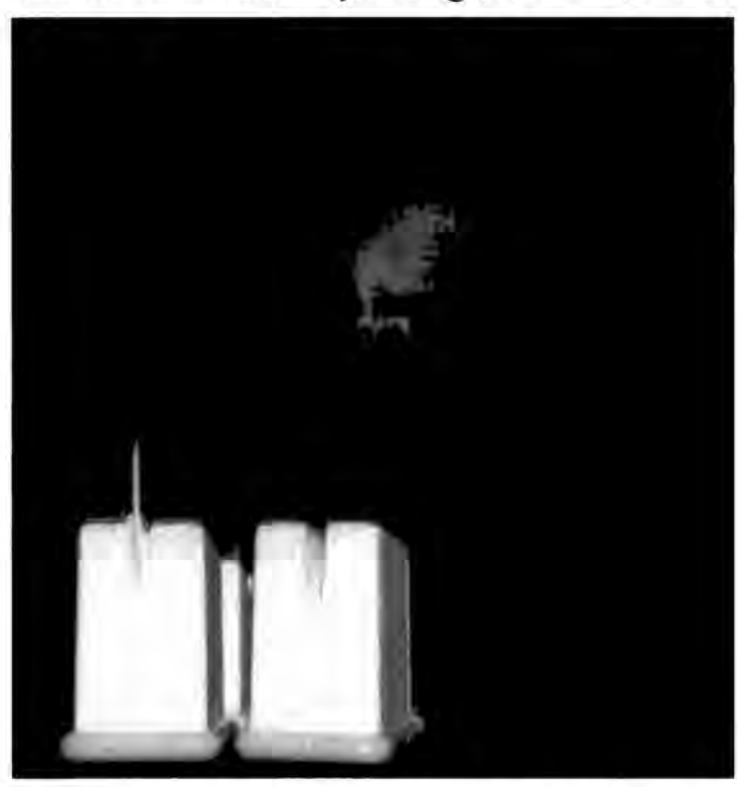
وتجدر الإشارة إلى أنه تم وضع خرائط جينية لعشرات الكائنات الحية من بدائيات النوى وحقيقيات النوى (وحيدات الخلايا وعديداتها). كما تم الإعلان في نيسان (إبريل) من هذا العام (2003) عن وضع كامل الخريطة الجينومية للإنسان (أي ما يقرب من 99.9 في المئة)، كما تم التعرف على معظم الجينات ذات العلاقة بالأمراض الوراثية.

ولكن لا بد من الإشارة في هذا السياق إلى ما يعتقده البعض أن جيناتنا لا ترمِّز نمطنا الظاهري (أنواع النسج والأعضاء وخصائصها وسمات المظهر الخارجي لجسمنا [107] فحسب)، بل ترمِّز أيضاً خصائصنا السلوكية والنفسية والفكرية. . . . وزعم فريقٌ من الباحثين منذ زمن ليس بعيداً أنه عُثر على الجين المسبب للاكتئاب لدى «الأميش» Amish (وهم أتباع الأسقف السويسري «يعقوب أمَّان» Jacob Amman، الذي هرب (نتيجة الاضهاد الديني) مع جماعته عام 1693 إلى الولايات المتحدة، ويعيش أفراد هذه الجماعة حتى الآن في قرية بولاية بنسلفانيا وفقاً لتقاليدهم المتوارثة منذ ذلك العام، ويتزاوجون حصراً فيما بينهم). إن ظاهرة الاكتئاب منتشرة لدى الأميش أكثر من غيرهم. ولكن تبين فيما بعد أن هذا «الاكتشاف» العلمي غير صحيح. واُعتقد مؤخراً أنه تم اكتشاف جين مسؤول عن زيادة مستوى الاستجابة الكْربية، وتقصير العمر لدى الثدييات. وأُعطي هذا الجين (الذي يؤدي تعطيله إلى زيادة مقاومة الخلايا للجذور الحرة المؤكسدة والمخربة، وللإشعاع)، أُعطي الرمز [108]P_{66}^{shc} ولكن، وكما نعتقد، سيتضح أن هذه الاستنتاجات، وإطالة العمر على وجه التخصيص، هي استنتاجات أولية، وغير دقيقة. فكما هي الحال في ما يتعلق بجين الاكتئاب، فإن إطالة العمر ترتبط بعدد من الجينات الوظيفية ذات التأثيرات المتتالية والمترابطة، وليس بتأثير جين واحد بعينه، هذا إذا تم التأكد فعلاً إن الجينات بمفردها (وبمعزل عن تأثيرات البيئة وتداعياتها) هي التي تحكم ظاهرة نفسية معقدة التركيب كالاكتئاب،

106. Su X-Z. et., Science **286** , 1351 - 1353 (1999)
107. Bouchard , T. J., La Recherche **311** , 28 - 32 (1998).
108. Migliaccio, E.et al., Nature **402**, 309-312 (1999)

وتناول الجملة العصبية ـ الهرمونية ـ المناعية ، أو تتحكم بمفردها أيضاً بظاهرة تقصير العمر أو إطالته . ونرى أيضاً أن تعقد أفعال السلوك، يستوجب العمل المترابط والمتسلسل لعدد من الجينات (وبالتآثر مع ظروف البيئة والتأهب الوراثي)، وذلك كي نصل في النهاية إلى ظاهرة الاكتئاب مثلاً، أو إطالة عمر الكائن الحي، والثدييات منها خاصة. ولن نبالغ كثيراً، وفي زحمة التسابق لتسجيل براءات الاكتشاف، ولتحقيق الربح المادي السريع، أن نقرأ قريباً عن اكتشاف جين يزيد مستوى الذكاء مثلاً •[108-I]، أو درجة الانفعال، أو موهبة التفوق في بعض الفنون (كالموسيقا والرسم والنحت والأدب وقرض الشعر . . .)، أمور ظاهرها صحيح، وباطنها مغلوط كلياً. ذلك أن السير في هذا المنحى سيؤدي إلى يوجينية عنصرية كريهة.

• هذا ما حدث فعلاً ! فلقد نشر حديثاً فريقٌ من الباحثين بحثاً في مجلة مرموقة جداً، يذكر فيه أنه توصل ، بوساطة الهندسة الجينية ، إلى إنتاج فأر أكثر ذكاءً من أقرانه الأسوياء (الشكل I-7.9) . انظر المرجع 108-I التالي : 108-I. Tang, Y-P. et al., Nature **401**. 63 - 69 (1999).



الشكل I-7.9 . صورة لفأر مهندس جينياً يعتقد أنه أكثر ذكاءً من أقرانه الأسوياء ، إذ يمتلك مقدرة متميزة على التعلم، وذاكرة غير عادية، ويستطيع أن ينجز مهمات متاهية استثنائية ، ويتعرف شكل الأشياء ويميز الأصوات ، ويحتفظ بما تعلمه . ولقد تم إنتاج هذا الفأر المهندس جينياً بحقن جين يعرف بالرمز NR2B ، وكذلك محضض خاص (تسلسل من DNA ، ADN يحرض انتساخ الجين بكفاءة عالية) في البيضة المخصبة للفأر ، حيث يتكامل الجين والمحضض مع جينوم الفأر . إن الجين NR2B يرمز بروتيناً ، يعمل كمستقبل ، عُرف بالرمز NMDA . إن هذا المستقبل يعمل بتأثير إشارتين يجب أن تصلا المستقبل في اللحظة نفسها ، فتنشأ عندئذ الذاكرة التي هي أساسية في التعلم . ولقد كان الفريق الذي أنجز هذا البحث قد أوضح بأبحاث سابقة إن فأراً طافراً (أي لا يحوي جيناً كان قد أعطي الرمز NR1 الذي لا يمكن لعمله أن ينتظم إلا إذا تشارك العمل مع جين آخر من مجموعة من الجينات عددها أربعة ، منها NR2B) ، لا يتذكر كما يفعل الفأر السوي . ومع تقدم الفأر السوي بالعمر ، فإن التشارك في العمل بين الجين NR1 و NR2B يتوقف ، ويبدأ عندئذ هذا التشارك بين NR1 و NR2A ، مسبباً ضعف المقدرة على التذكر . ويرى فريق البحث أن تزويد الفأر بنسخ إضافية من الجين NR2B يجعل المستقبل NMDA في العصبون فعالاً مدة ربع ثانية (250 ميلي ثانية)، عوضاً عن عشر الثانية (100 ميلي ثانية) . ويرى فريق البحث أيضاً أن هذه الفاعلية المديدة للمستقبل NMDA تحدث اتصالاً قوياً بين عصبونين ، محدثة ما يعرف بـ « الكمونية المديدة » long term potentiation (أو LTP اختصاراً) . بيد أن باحثين آخرين يعتقدون أن الكمونية المديدة ليست ضرورية للتعلم [عن Biotech Lab Interna., **11-12** , **1** and **6** (1999) ، انظر أيضاً المقالة الرئيسة ، المرجع 108-I] .

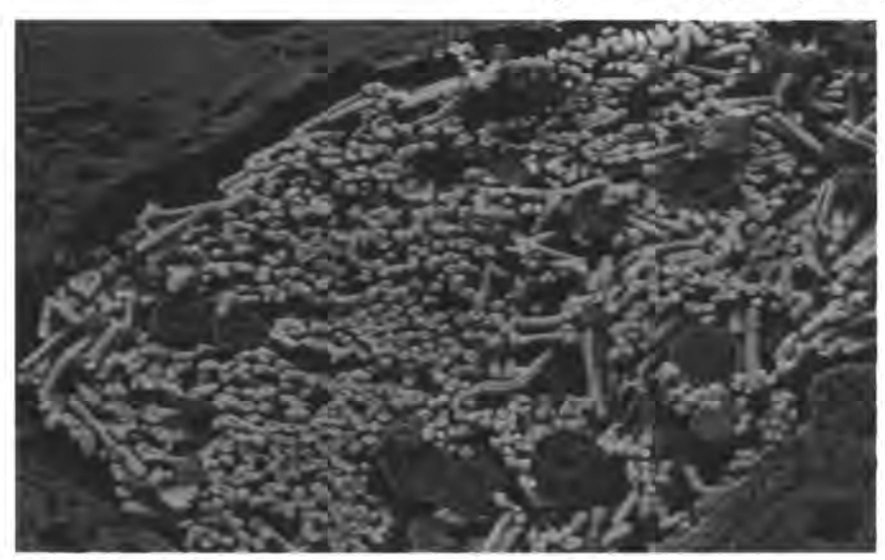
3.9. الهندسة الجينية

علـى الـرغم من أن اكتشاف بنية DNA، ADN مـزدوجـة الحلـزون، وتـتامية الأدنين مع التيمين والغوانين مع السيتوزين في هذه البنية (حلزون«واتسون ـ كريك»)، قد تمَّ في عام 1953، فإن تقنية نقل شُدفة من DNA، ADN من كائن حي إلى آخر (بكتيرة الإشريكية القولونية في البداية)، أو تأشيب DNA، ADN (خلط قطعة بقطع أخرى)، أو الهندسة الجينية كما شاع ذلك (أي تحضير قطع من الجينات مرتبة ـ أو مهندسة ـ وفق الطلب)، إن هذه التِقنية لم تُبتكر إذاً إلاَّ في مطلع السبعينات، عندما أجرى كل من«بول برغ» Paul Berg، «وهربرت بوير» Herbert Boyer، و«ستانلي كوهين» Stanley Cohen تجاربهم الشهيرة. وقد يرجع جزء من السبب الأساسي لذلك إلى منطق البحث العلمي بضرورة «نضج» الاكتشاف وفهمه فهماً أكثر عمقاً من جهة، وإلى ضرورة توفر أدوات «التفصيل» من جهة أخرى. ونعني بذلك أنزيمات التقييد (يُرجع إلى الحاشية 1.9والجدول 2.9) وكذلك تعرف تسلسل نكليوتيدات نواقل الجينات (وبخاصة وبلزميد الإشريكية القولونية). والبلزميد هو حلقة مغلقة من حلزون DNA، ADN المزدوج، ويتألف في الإشريكية القولونية من قـرابة 000 17 شفع (زوج) من النكليوتيدات، ويماثل كثيراً DNA، ADN الكوندريات (يُرجع إلى الفقرة 3.5 والشكل 4.5). إن الكوندرية، كما سبق أن ذكرنا، هي في الأساس بكتيرة (أي من بدائيات النوى)، تعايشت مع الخلـية حقيقة النواة. ولكن حياة التعايـش حَوَّرت كثيراً من بنية بلزميدها ووظيفته (الشـكل 9 . 8 ،يُرجـع أيضـاً إلى الشـكل 8 . 3). ويتصف البلزميد، وبخاصة في الإشـريكية القولونية، بصفتين أسـاسيتين، شـكلتا إحدى الدعائم الأساسية للهندسة الجينية. وتتمثل **الخاصة الأولى** بمقدرة البلزميد عـلى التضاعـف بمعزل عن صبغـيات البكـتيرة، الأمر الذي يتيح الحصول على عدد كبير من هذه البنية. أمَّا **الخاصة الثانية**، فتتمثل بوجود الجين الخاص بمقاومة المضادات الحيوية (وبخاصة التتراسيكلين) في البلزميد نفسه كجزء من بنيته (أي تسلسل نكليوتيداته). فإذا ما عطلنا هذا الجين في نسيـلة معينة من الإشـريكية القولونية (بالطفـر)، وزرعنا هذه النسـيلة جنباً إلى جنب مع البلزميدات التي لم نعطل فيها



الشكل 9 . 8. مخطط ترسيمي للكوندرية (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 530) . قارن هذا الشكل بالقسم الأيمن من الشكل 8 . 1-أ.

جينات مقاومة المضادات الحيوية وأشَّبنا* فيها جيناً معيناً، فإن إشريكية قولونية واحدة تقريباً من كل مئة ألف بكتيرة تأخذ هذا البلزميد، فتصبح مقاومة للمضاد الحيوي، وتحمل في الوقت نفسه الجين المعني. وعندما نزرعها كلها على وسط يحوي المضاد الحيوي، فإن الغالبية العظمى ستموت، ولا يتبقى إلا البكتيريا التي جبلت البلزميد المأشوب في بنيتها. ويمكن عندئذ أن ننمي هذه البكتيرة، وفي أثناء يوم واحد فقط نحصل على أعداد كبيرة منها (إنَّ الإشريكية القولونية، وأنواع البكتيريا عموماً، تنقسم مرة كل ثلاثين دقيقة تقريباً، أي إننا نحصل في إثر مرور أقل من 12 ساعة فقط على أكثر من مليار بكتيرة بدءاً من بكتيرة واحدة، الشكل 9 . 8-I).



الشـــكل I-8.9 . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرَّسي (الماسح) لمقطع في الرئة (الأحمر) مصابة بعصية الجمرة الخبيثة Bacillus anthracis (الأزرق). يرجح أن يكون هذا العدد الهائل من العصيات قد نجم عن عصية واحدة تكاثرت بســـرعة كبيرة. إن الأجسام الكـــروية الحمـــر في البؤرة المصـــابة هي كريـــات حمر غادرت الأوعية الدموية المتمزقة [عن Riges , E., Nature **404**,543-545 (2000)].

ويتم في الهندسة الجينية (أو تأشيب DNA، ADN) الحصول على قطعة (أو شُدفة) DNA، ADN، تحوي الجين الذي يُرغب في نقله من كائن حي إلى كائن حي آخر، وذلك بمعالجة حلزون DNA، ADN بإحدى أنزيمات التقيد. وتؤدي هذه المعالجة إلى انفصال تلك القطعة التي يكون لطرفيها نهايتان مدببتان متعاكستا التوضع (أي أن إحدى شريطتي الحلزون تبرز عن الشريطة الأخرى في إحدى النهايتين، في حين يحدث العكس تماماً في النهاية الثانية، يُرجع إلى الحاشية 1.9 والشكل 2.9-أ، وإلى الجدول 2.9). أما في المرحلة الثانية، فيقطع بلزميد إحدى البكتيريا (وغالباً الإشريكية القولونية)، أو أي ناقل جيني آخر (وغالباً ما يكون فيروساً)، يقطع إذاً الناقل الجيني بأنزيم التقييد نفسه، الذي يزيل قطعة من DNA، ADN تتساوى تقريباً بعدد نكليوتيداتها مع القطعة التي يُرغب في تأشيبها، أو غرزها. فإذا ما وضعت القطعة التي تحمل الجين المعني والبلزميد الذي تم تحضيره على النحو الآنف الذكر، فإن تتامية «واتسون-كريك» تسبب ترابط القطعة، وانغرازها بالحامل (البلزميد، أو أي حامل جيني آخر). وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن طبيعة الحامل ـ وبخاصة عدد نكـــليوتيدات DNA، ADN الذي يشـــكل المادة الجينية لهـــذا الحامل ـ يحددها طـول أو

* أَشبَ وأَشَّبَ، أي خلط، قال النابغة الذبياني (زياد بن معاوية الذبياني ؟ ..-604):

«وَثِقتُ لَهُ بالنصرِ إذ قيلَ قدغزتْ   قبائلُ من غسانَ غيرُ أشائبِ»

عدد نكليوتيدات الجين الذي يُرغب في غرزه). وبطبيعة الحال، إذا كان الحامل فيروساً، فيجب تعطيل الجين المسؤول عن تكاثره. ويتجه معظم الباحثين إلى استعمال أوسع للبلزميدات في الهندسة الجينية التي تتناول النباتات المحورة جينياً، في حين يزداد تفضيل الفيروسات (الفيروسات الغدية، وفيروس عوز المناعة البشري المسؤول عن إحداث متلازمة عوز المناعة البشري المكتسب، أو الإيدز، أو السيدا) في التجارب التي تجرى على الحيوانات (وبخاصة تكوين حيوانات محورة جينياً)، وفي المعالجة الجينية للإنسان. هذا، وسنعرض لهذا الموضوع بشيء من التفصيل في الفقرات التالية، وفي الفقرتين 9.4 و 9.6 خاصة.

ويحق لنا أن نتساءل عن مصير الجين الذي أُدخل محمولاً على البلزميد أو الفيروس، أوحتى أُدخل دونما حامل (أو ما يعرف بـ DNA، ADN العاري). ومع أننا سنعود إلى هذا الأمر في الفقرات التالية، فإننا نذكر أن الحامل سيقوَّض داخل الخلية المستهدفة، وقد يتناول التقويض الجين المعني أيضاً، الذي نادراً ما ينجو من هذا التدرك. وحتى لو بقي الجين المستهدف محتفظاً ببنيته كاملة، فإن احتمال عثوره على موضع مناسب (بسيرورة معقدة تعرف بالتأشيب المماثل homologous recombination، recombinaision homologue)، (الشكل9.9-أ)، يستطيع



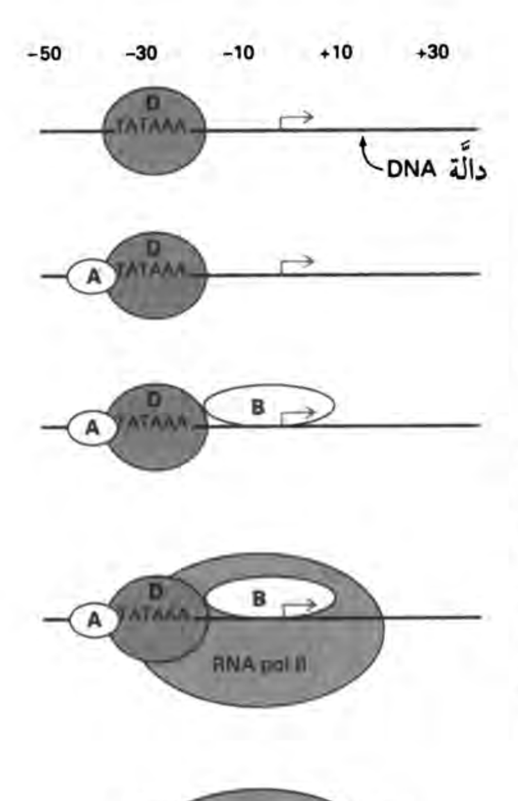
الشكل 9.9-أ (الشرح في الصفحة التالية).

9.9-أ- التأشيب الماثل. تُعدَ سيرورة التأشيب المماثل، ذات الآلية الجزيئية الغامضة، أساس المعالجة الجينية، حيث يستبدل جين سوي بجين معيب بغرض تصحيح الأخطاء الجينية المسببة للأمراض الوراثية. كما يستعمل التأشيب المماثل في البيولوجية الجزيئية والتمايز الخلوي لتعرف وظيفة جين نوعي، إما بتعطيل عمل هذا الجين، أو باستبعاده (خبنه) كلياً. فعندما تدخل شدف (قطع) من DNA إلى الخلية، يمكن لهذه الشدف أن تتكامل مع DNA الخلية بطريقتين مختلفتين: إما عن طريق الغرز العشوائي بأمكنة عانى فيها DNA تكسراً ما. فيمكن، في مثل هذه الحالة، أن تتكامل عدة نسخ من الجين الذي دخل الخلية. وإما بالتأشيب المماثل (أي أن يحل جين أوتسلسل معين من النكلوتيدات، محل جين، أو تسلسل مشابه). نصادف في التأشيب المماثل ثلاثة احتمالات.

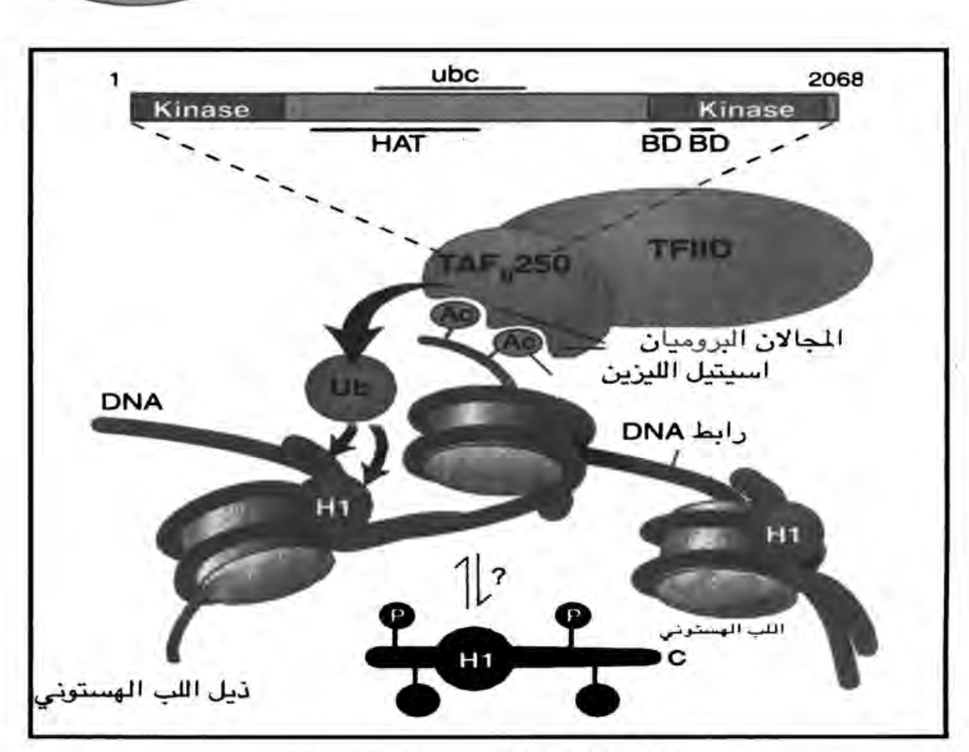
لنفترض أننا نرغب في إجراء تأشيب مماثل لجين المكروغلوبلين بيتا 2(جزء من جزيء معقد التوافق النسيجي من الصف الأول MHC 1). ننشيء بناء جينياً، يتألف من هذا الجين، ومن جين كيناز التيميدين tk لفيروس الحلأالبسيط *herpes simplix* (القسم العلوي من الشكل). ندخل عندئذ في هذا البناء، وفي وسط جين المكروغلوبلين بيتا، جين مقاومة المضاد الحيوي النيوميسين(neo^r) (القسم الثاني من الشكل باتجاه الأسفل). إن هذا التضمين لايؤثر في سيرورة التأشيب المماثل. نضع نسخاً من هذا البناء الجيني (جين المكروغلوبين بيتا-يتوسطه جين مقاومة النيوميسين-وجين كيناز التيميدين) في وسط يحوي المضاد الحيوي شبيه النيوميسين G428، ومضاد للفيروسات، هو الغانسيكلوفير ganciclovir. تأخذ الخلايا عند ئذ نسخ البناء الجيني. فنصادف الاحتمالات الثلاثة التالية كما ورد أعلاه: أ. يخفق البناء الجيني في التكامل مع DNA الخلايا، فتموت هذه الخلايا بسبب وجود المضاد الحيوي G 418 في الوسط، الذي يقتلها (الجزء الأيسر من القسم السفلي للشكل). ب-يتكامل البناء الجيني عشوائياً مع DNA الخلايا، فيتم عندئذ التعبير الجيني عن مقاومة شبيه النيوميسين G418، وكيناز التيميدين. تحلمه hydrolyse الأنسزيم عندئذ العقار غانسيكلوفير، فيتشكل، نتيجة الحلمهة، مركب سام يقتل الخلايا التي كاملت البناء الجيني تصادفياً (الجزء الأوسط من القسم السفلي). وغني عن البيان هنا أن الخلايا تكون مقاومة للعقار G418، ولكنها تقتل بسبب تفاعل الحلمهة. جـ. يتكامل البناء الجيني تكاملاً صحيحاً بالتأشيب المماثل. ويشمل هذا التكامل، بطبيعة الحال، جين المكروغلوبلين بيتا، وجين مقاومة شبيه النيوميسين ,G418، ولايشمل كيناز التيميدين، لأنه لايوجد تسلسل في DNA جين المكروغلوبلين بيتا يتكامل معه. فتبقى حية وعيوشة [عن المرجع I-72: Janeway ,C.A.et al., "**Immuno Biology**" Churchill Livingston ,London (1999)P.72].

فيه التعبير عن نفسه(2.9) (أي أن يجد موقعاً صحيحاً على صبغي ملائم)، إن هذا الاحتمال لا يتجاوز فرصة واحدة من أصل مئة ألف فرصة (أي أن الاحتمال هو 1×10^{-5}). ولذا، ولزيادة هذا الاحتمال، فإنه يتم استعمال ملايين النسخ من الجين المعني. ويتم ذلك بتضخيم قطعة DNA، ADN التي تحوي الجين عدداً هائلاً من المرات بوساطة التقنية المعروفة بالتفاعل السلسلي للبوليمراز(3.9) [يمكن، من أجل الإطلاع على تفاصيل اكتشاف هذا التفاعل المهم، الذي أصبح ركناً أساسياً من أركان الهندسة الجينية والتقانة الحيوية، الرجوع إلى المقالة الموسومة بالعنوان «النشوء الاستثنائي للتفاعل السِّلسلي للبوليميراز»، «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **8** العدد **4** إبريل (نيسان)، الصفحات 44 ـ 53 (1992)، التي هي ترجمة للمرجع 109]. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن تدني مقدار الاحتمال المشار إليه(بسبب عدم تكامل الجين المعني تكاملاً صحيحاً بوساطة التأشيب المماثل) هو وراء نسبة الإخفاق الكبيرة في تجارب الحصول على كائنات حية محورة جينياً. وهذه الأسباب ذاتها كانت أيضاً وراء موت أكثر من سبعة مرضى (تم الاعتراف سراً بوفاتهم خلافاً لما تفرضه التنظيمات الخاصة بضرورة الإعلان جهراً عن ذلك[94])، قضوا في الولايات المتحدة وحدها في أثناء خضوعهم لمعالجات جينية كان يفترض أن تؤدي إلى شفائهم.

(2.9) كما هو معروف، فإن الجين يتألف من تسلسل محدد من النكليوتيدات، تؤلف عادة في حالة mRNA، ARNm، كما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الحاشيتين 9.7 و12.7) الإكسونات والإنترونات. ولكي يتم انتساخ الجين (أي تبدأ بالتعبير عن نفسها كنمط جيني، ينتهي بتركيب جزيء بروتيني محدد كنمط ظاهري، بكفاية تلبي احتياجات حياة الخلية ووظيفتها) إلى RNA، ARN من قبل إحدى بوليميرازات RNA، ARN الثلاثة I، أو II، أو III (وبخاصة الأنزيم II لأنه ينتسخ الرسيل، يُرجع إلى الحاشية 12.7)، فإن نقطة استهلال الانتساخ (أي ثلاثية الأسس التي ترمز في معظم الأحيان فورميل الميتيونين) تكون مسبوقة صُعداً بتسلسل، قد يكون بعيداً بضع مئات الأسس عن نقطة استهلال الانتساخ، وغالباً ما يحوي هذا التسلسل الأسس TATA (و يُعرف بتسلسل أو إطار تاتا)، الذي ترتبط به وُحَيِّدة من وُحَيِّدات جزيء عامل الانتساخ العام TFII D (الأشكال 9.9 -ب، وج ود) وتُعرف هذه الوُحَيِّدة بالبروتين المترابط بتسلسل تاتا TATA binding protein أو TBP اختصاراً (يُرجع الشكل 9.9 ـ ب). ويعرف التسلسل الرئيس (الذي يحوي التسلسل تاتا)، والذي قد يتألف من مئات الأسس، يُعرف بالمُحَضِّض promoter، promoteur (يُرجع إلى الحاشية 12.7 أيضاً). ←

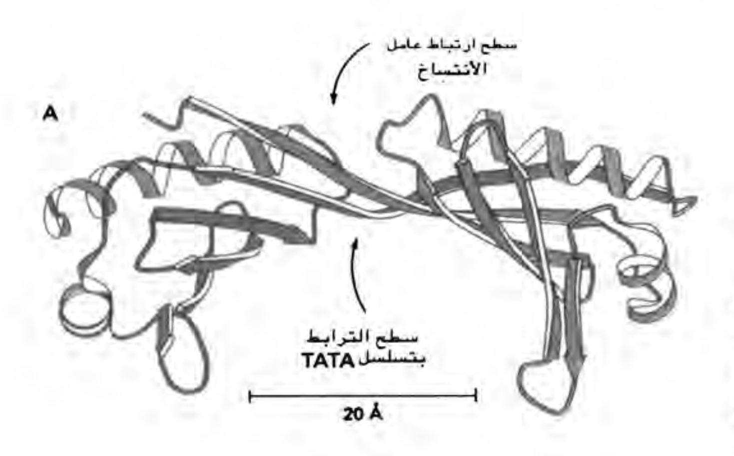


الشكل 9.9 ـ ب. مخطط ترسيمي يلخص خمساً من مراحل ترابط عوامل الانتساخ TFII الأربعة ، وهي : A و B و D و E الضرورية لاستهلال الانتساخ من قبل أنزيم البوليميراز II (أي الذي ينسخ الرسيل (mRNA ، ARNm) . إن التجمع التراتبي لهذه العوامل العامة الأساسية لحدوث الانتساخ في الخلايا كافة يبدأ بترابط عامل الانتساخ D (TFIID ، الأزرق) بتسلسل تاتا (TATA) . يترابط عندئذ البوليميراز II (الأصفر) بالمعقد المتشكل وذلك بعد أن تترابط عوامل الانتساخ الثلاثة الأخرى (أي TFIIA و TFIIB و TFIIE) بتسلسلاتها النوعية في DNA ، ADN . يشير السهم إلى مقرر استهلال الانتساخ . يتحرك أنزيم البوليميراز لينتسخ الجين نتيجة فسفرة عدد من ثمالات الحموض الأمينية في الأنزيم بفعل أنزيمات الكيناز ، الأمر الذي يرفع الطاقة الحرة (بما في ذلك الطاقة الحركية) للجملة، ويخفض طاقة التنشيط اللازمة لحدوث الانتساخ (ربط نكليوتيدات الرسيل المتممة لنكليوتيدات الجين المعني) (عن Stryer,1995 ، المرجع 30 ، ص. 855) .



الشكل 9.9 –جـ (الشرح في الصفحة التالية)

الشكل 9.9-جـ. مخطط ترسيمي لعامل الانتساخ العام TFIID. إن هذا العامل المهم يتألف من وُحَيْدة رئيسة، تترابط بها الوُحَيْدة TAFII250 التي تحوي مجالين، ترتبط بكل منهما ذرة بروم، كما يحوي مجالين كينازيين، ومجال لأسيتيل ترانسفيراز الهستون، ومجالاً ذا فاعلية يوبيكويتينية. لاحظ كيف يترابط TAFII 250 بالذيل المؤستل للرستون اللبي بوساطة المجالين البرومين. يؤدي هذا التآثر إلي يوبيكويتينية الهستون H1 بوساطة الوُحَيْدة TAFII250 مما يسبب تغيراً في بنية الكروماتين، يحابي الانتساخ ويسهل حدوثه [Mizzen, C. A. and Allis, C. D, Scienee **289**.2290-2291(2000)].





الشكل 9.9- د. مخطط ترسيمي للبنية الفراغية ثلاثية الأبعاد الوظيفية للبروتين المترابط بتسلسل تاتا (TBP)، أو الـوُحَيْـدة مـن جـزيء عـامل الانتساخ TFIID، التي تتعرف تسلسلاً نوعياً خاصاً بها في الجين. إن كلاً من المجالين المتماثلين (الأصفر والأزرق) للشدفة المحافظة ذات النهاية الكربوكسيلية للوُحَيْدة TBP يحوي حلزونين من حلزونات ألفا، وخمسة أشرطة مضادة التوازي من مُلاآت بيتا المثناة (الأسهم متعاكسة الاتجاهات). لقد مُثِّلت البنية الفراغية ثلاثية الأبعاد للوُحيدة بمنظر علـوي (A)، وبمنظر جانبي (B) (عن Stryer,1995، المرجع 30، ص. 855).

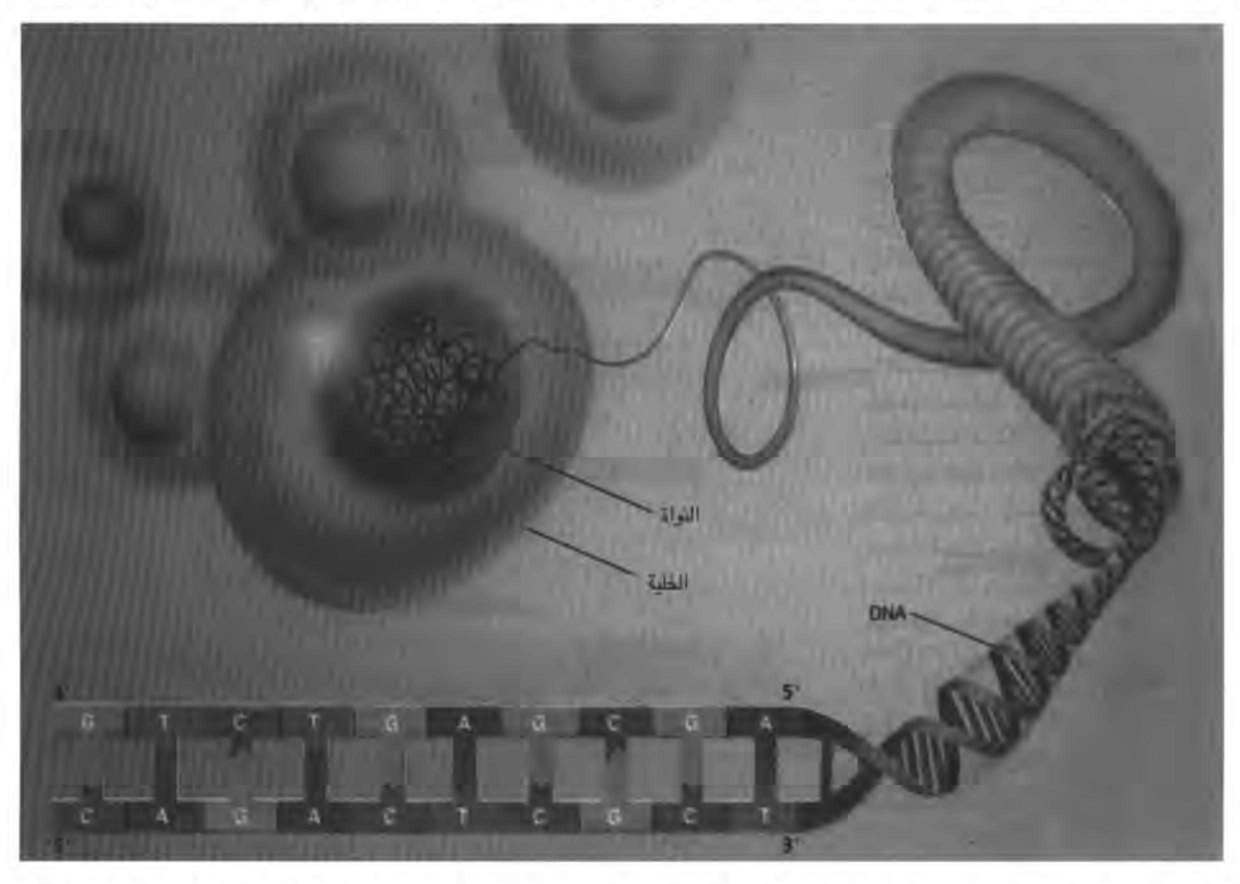
← كما ويُلحق بالجين(صُعداً، أو نزلاً، أو حتى ضمن تسلسلات الجين نفسها) تسلسل آخر، يعرف بالمُعَزِّز enhancer، rehausseur. كما أن المعزز هذا قد يكون على صبغي آخر، فيعرف فعله بالمفروق trans (تقابلاً مع مقرون cis إذا كان على الصبغي نفسه). وتتمثل وظيفة المحضض (كما يدل على ذلك اسمه) بتسريع فعل البوليميراز لانتساخ الجين. ويحدث هذا الحض نتيجة ترابط عوامل الانتساخ (التي قد تكون بروتينات مثلية، أو عوامل نمو) من جهة، وبروتينات أخرى نوعية (نذكر منها -على سبيل المثال لا الحصر- مستقبل الأستروجين في حال تركيب المح في الخلية البيضية للفقاريات ما عدا الثدييات الحقيقية) من جهة أخرى. أن ترابط عوامل الانتساخ هذه (ومنها ما هو عام للخلايا كلها، ومنها ما هو نوعي خاص بكل نمط من أنماط الخلايا الرئيسة الثمانمئة)، والبروتينات النوعية الأخرى بالمحضض، وملامسة سطوح جزيئات بعضها (يرجع إلى الشكل 9.9-ب) لقسم محدد من سطح البوليميراز، يؤدي إلى فسفرة عدد من ثمالات الحموض الأمينية لهذا الأنزيم بوساطة كينازات معينة (وبخاصة كينازات التيروزين والتريونين والسيرين). إن هذه الفسفرة ترفع الطاقة الحرة للجملة، فتسارع البوليميراز إلى انتساخ الجين. ويساعد على هذا التنشيط للبوليميراز تغير الشحن الكهربائية لأقسام محددة من سطح الأنزيم. أمَّا في ما يتعلق بوظيفة المعزز، فتتمثل بتنظيم آلية الانتساخ في المكان والزمن، ووفقاً للنمط الخلوي الذي يتناوله هذا التنظيم تنشيطاً، أو تثبيطاً (خلافاً لوظيفة المحضض التي تكون دائماً تنشيطية).

(3.9) تم اكتشاف التفاعل السِّلسلي للبوليميراز polymerase chain reaction (PCR), reaction en chaine de polymerase من قبل «كاري موليس» Kary Mullis عام 1983 [109] ونال جائزة نوبل للكيمياء عام 1993 وجوائز علمية أخرى. ويتمثل هذا التفاعل بسيط المبدأ أساساً بوضع قطعة من DNA، ADN، تدعى الدّالة moule, template، (تحوي الجين الذي يُرغب في تضخيم عدده) في أنبوب صغير مخروطي الشكل عادة («ابندورف» Eppindorf) مع كمية محددة من بوليميراز DNA، ADN، وتسلسل قصير من النكليوتيدات يعرف بالمرئسة primer، primère، ←

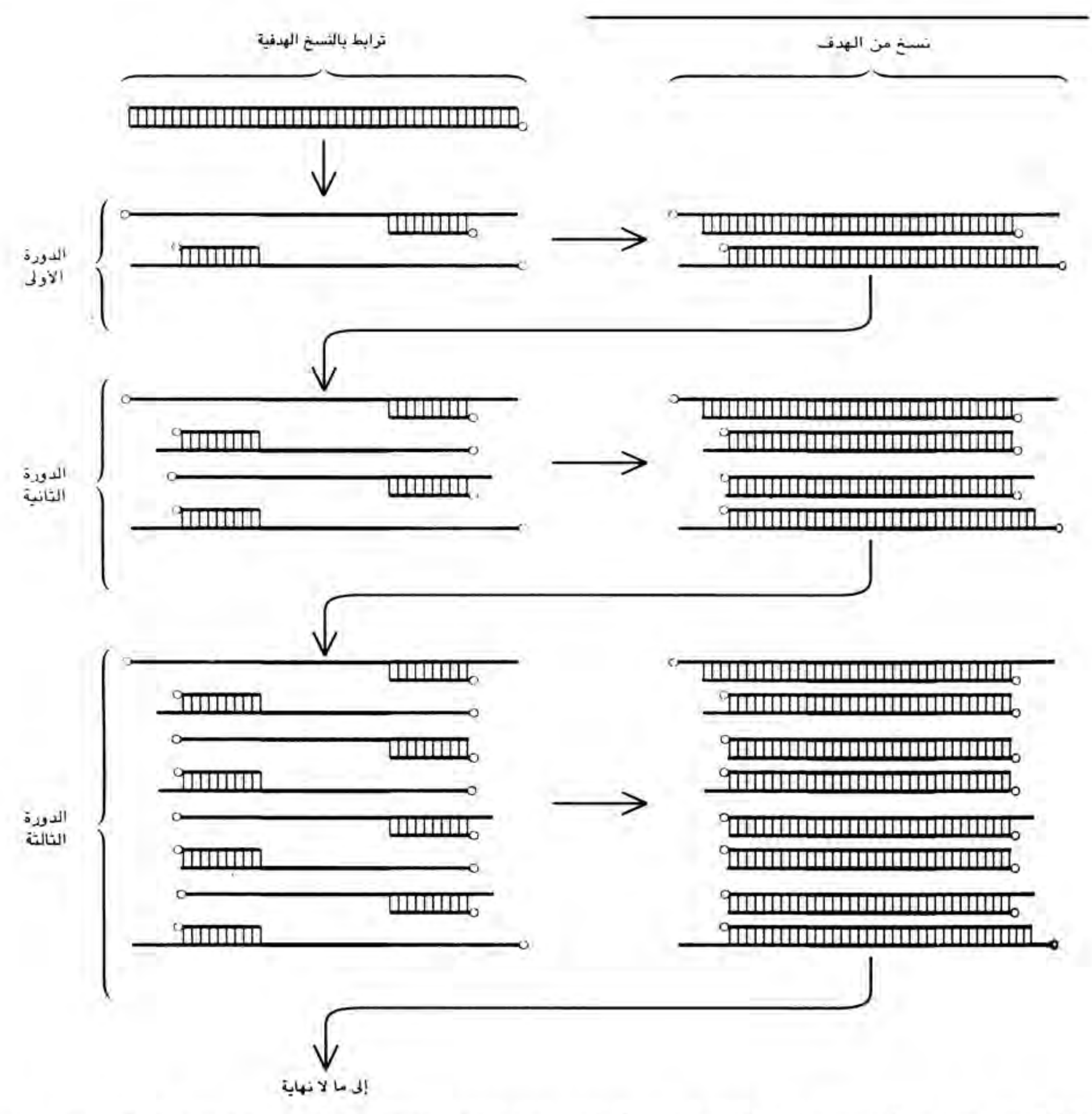
109. Mullis, K., Scientific American, **April** (1990), 56 - 65.

لقد تُرجمت هذه المقالة إلى العربية، ونُشرت في«مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **8** العدد **4**، أبريل (نيسان) 44-53 (1992).

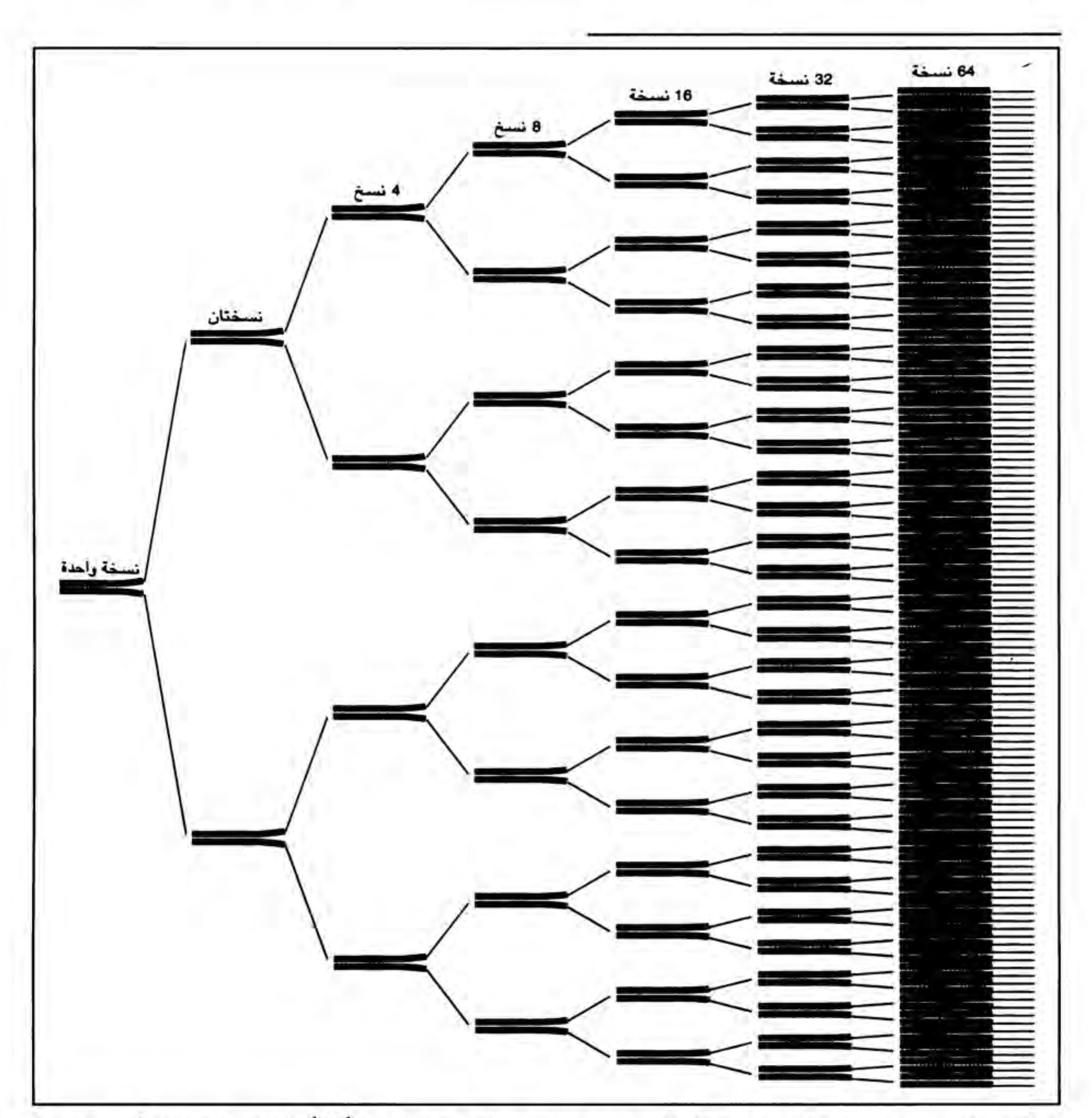
← يتتام (بتتامية «واتسون ـ كريك») أو يتشافع مع بدايتي شريطتي القطعة (أي نزلاً 5َ ← 3َ و صُعداً 3َ←5َ) التي سيتم تضخيم عددها. كما تضاف إلى الدارئة النكليوتيدات الأربعة على شكل ثلاثي فسفات النكليوتيد أحادي منزوع الأكسجين dNTP (حيث يرمز الحرف d إلى منزوع، و N إلى أي من النكليوتيدات الأربعة، و T إلى ثلاثية الفسفات، أي dATP، و dGTP، و dCTP، و dTTP). فعندما نسخن محلول المزيج حتى الدرجة 90 مئوية، تتحطم الروابط الهدرجينية (رابطتان اثنتان بين الأدنين والتيمين، وثلاث روابط بين الغوانين والسيتوزين) بفعل الطاقة الحرارية، وتنفصل شريطتا حلزون «واتسون ـ كريك» عن بعضهما. نبرد عندئذ المزيج إلى الدرجة 40 تقريباً (الإسقاء)، فتترابط كل مرئسة بالطرف المتمم لها من الشريطة، ويقوم البوليميراز عندئذ بإضافة النكليوتيدات المتممة، بدءاً من نهاية المرئسة حتى نهاية الشريطة. وهكذا، تتشكل لدينا أربع شرائط، تشكل قطعتين حلزونيتي البنية، مثيلتين تماماً (أي كالقطعة البدئية ذاتها). ويستغرق هذا التفاعل أقل من دقيقة. وهذه هي الدورة الأولى. يسخن المزيج آلياً من جديد حتى الدرجة تسعين، فتنفصل الشرائط الأربع (في الحلزونين) عن بعضها نتيجة تحطم الروابط الهدرجينية. ولدى التبريد تعود المرئسات للترابط بالتتامية ببداية (أو نهاية) كل شريطة، وتقوم البوليميراز بتركيب شرائط أربع جديدة متممة للشرائط الأربع الموجودة في المحلول، وتتشكل أربع قطع (حلزونيتي البنية) كلها متماثلة (كقطعة ADNـDNA البدء تماماً). وهذه هي الدورة الثانية. فإذا ما استمر التسخين والتبريد مدة ثلاث ساعات مثلاً (أي 120 دورة)، فإن عدد القطع يتضخم قرابة 2^{120} (وهو رقم كبير جداً يفي بأغراض السَلسَلة، والهندسة الجينية، وغيرها من التِقنيات). ومع أنه أُدخلت على التفاعل الأساسي (كما أتينا على وصفه) تحويرات عديدة، فإن المبدأ ما يزال محتفظاً ببساطته الأصلية. هذا، ويوضح الشكلان 9.10 و 9.11 المبدأ الأساسي للتفاعل السِّلسلي للبوليميراز. ←



الشكل 9.10 ـ أ. مخطط ترسيمي لخلية حقيقية النواة وللكروماتين ولحلزون «واتسون ـ كريك» المزدوج الشريطة. لاحظ تضادية التوازي بين شريطتي الحلزون، حيث تُقرأ الأولى منهما نُزلاً (أي مع التيار، من 5 رئيسة ـ 3َ ـ إلى 3 رئيسة ـ 3َ)، والثانية صُعداً (أي ضد التيار، من 3 رئيسة ـ 3َ ـ إلى 5 رئيسة ـ 5َ). وكما ذكرنا غير مرة، فإن الأدنين يتشافع مع التيمين بوساطة رابطتين هدرجينتين، والغوانين مع السيتوزين بوساطة ثلاث روابط هدرجينية (الشكل عن Mullis,1990، المرجع 109، ص. 45). لقد تُرجمت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت في «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد 8، العدد 4، إبريل (نيسان) 44-53 (1992)، واقتُبس الشكلان 9.10 و 9.11 من هذه الترجمة.



الشكل 9 . 10 - ب . مخطط ترسيمي لتقنية التفاعل السلسلي للبوليمراز كما وضعه مكتشفه «كاري موليس» . يعمد ، من أجل تضخيم جين معين أو أي شدفة من DNA ، ADN (الأزرق والأحمر في تسلسل DNA ، ADN) إلى تسخين محلول DNA ، ADN إلى الدرجة 90 مئوية (سلسيوس)، فتنفصل الشريطتان عن بعضهما بفعل الطاقة الحرارية التي تحطم الروابط الهدرجينية بين شريطتي الحلزون . تضاف المرئستان ، فترتبطان بالتامية ببداية ونهاية تسلسلي الجين المعني (الدَّالة) وذلك عندما يُبرَّد المحلول إلى الدرجة 40 ـ 60 مئويـة . وتعـرف عملية التبريـد بالإسـقاء (التقسية) . يقوم البوليمراز عندئذ بإجراء تنسّخ لكل من الشريطتين بوضع النكليوتيدات المتممة . فتتشكل أربع شرائط ، كل اثنتين منهما متامتان (تتمم الواحدة منهما الأخرى) ، وبذلك تنجز الدورة الأولى . يُعاد التسخين (فصل الشرائط عن بعضها) والتبريد (ترابط المرئسات والتنسخ) ، فتنجز الدورة الثانية ، وهكذا ، وكانت الدورة الواحدة في بداية التقنية تستغرق 90 ثانية . و لكن مع التقدم الذي حدث ، أُنقصت هذه المدة إلى الثلث (نصف دقيقة) . وبالنظر إلى الحساسية المفرطة لهذا التفاعل ، فَلقد عانى في البداية من مشكلة التلوث بمادة جينية غريبة (بدءاً من DNA ، ADN خلايا ظهارة الأصابع ، إلى شعر الرأس ، إلى بكتيريا هواء التنفس ، والهواء الجوي . . . .) . وتم التغلب على هذه المشكلة بإجراء التفاعل بجملة محكمة الإغلاق وعقيمة . كما تم إيجاد حل لتدرك بوليميراز الخلايا العادية باكتشاف البكتيرة *Termoplilis aquaticus* التي تعيش في ينابيع حارة قد تصل درجة حرارتها إلى 130 سلسيوس . وعزلت البكتيرة من نبع حار في حديقة عامة في غرب الولايات المتحدة . إن بوليميراز هذه البكتيرة يقاوم حرارة التفاعل (حتى أن درَجة الحرارة الفضلى - 110 سلسيوس تقريباً ـ لعمله تفوق درجة حرارة التفاعل ، ولكن حتى في الدرجة 90 سِلسيوس، يبقى الأنزيم فعالاً بما يكفي لحدوث تفاعل عالي الأداء (الشكل عن Mullis,1990 ، المرجع 109 ـ الترجمة العربية ـ ، ص . 51) .



الشكل 9 . 11. مخطط ترسيمي للتفاعل السلسلي للبوليميراز . إن عدد النسخ المتشكلة يتزايد تزايداً أسيّاً ، أي 2 مرفوعة إلى إسٍّ عدد الدورات n (أو 2^n) ، فإذا كانت الدورة تستغرق نصف دقيقة ، فإن عدد النسخ في إثر مرور 20 دقيقة هو 2^{40} . (الشكل عن Mullis,1990 ، المرجع 109 ـ الترجمة العربية ـ ، ص . 46) .

←وتبين، في بداية استعمال التفاعل السِّلسلي للبوليمراز ، أن الأنزيم (الذي كان يستخلص من الخلايا العادية) كان يتمسخ (يفقد شكله الفراغي ثلاثي الأبعاد، ومن ثم وظيفته) بفعل الحرارة بعد عدد قليل من الدورات، الأمر الذي كان يستوجب إضافة كميات جديدة طازجة منه، مما يزيد في كلفة التفاعل كثيراً. ولكن سرعان ما تم إيجاد حل لهذه المعضلة بالعثور (في نبع حار يوجد في منتزه عام، يقع غربي الولايات المتحدة) على بكتيرة تعرف بالإسم *Thermophilis aquaticus*، تعيش في الينابيع الحارة بما في ذلك تلك التي توجد في قاع المحيطات، حيث تتراوح درجة حرارة الماء ما بين 110 و 135 مئوية، فاستُخلص منها أنزيم البوليميراز (الذي أصبح يعرف بالرمز Taq، من اسم البكتيرة)، ويحضَّر حاليا بالهندسة الجينية، ويباع بأسعار مقبولة، ولا يوجد مختبر واحد في العالم، يعمل في نطاق البيولوجيا الجزيئية (الهندسة الجينية، أو التقانة الحيوية، و الصناعية منها خاصة) إلا ويستعمل هذا التفاعل، ويدفع مبلغاً محدداً (يدخل في ثمن مجموعة الكواشف المستعملة في التفاعل) إلى شركة«بيركن ألمر» Perkin Elmer الأمريكية التي حصلت (بعد نزاعات قضائية طويلة) على براءة احتكار التفاعل.

9.4. المعالجة بالجينات واللَقاحات الجينية

مما لا لبس فيه أن علوم الصحة (والعلوم الطبية والصيدلانية منها خاصة) ستفيد كثيراً من مشروع الجينوم البشري (يُرجع إلى الحاشية 9.1). وكما سبق أن عرضنا، فإن هذا المشروع يفيد من التقدم السريع لتقنيات السَلسَلة من جهة، ومن وضع الخرائط الجينية لعدد من الكائنات الحية بدائيات النوى وحقيقيات النوى من جهة أخرى. وتأتي في مقدمة هذه الخرائط ما يخص منها الفطرية السكرية الجَعوية، والمتصورة المنجلية (يُرجع أيضاً إلى الفقرة 9.2)، وذبابة الفاكهة[93,110] والفأر. ومما لا ريب فيه أيضاً أن إيجاد معالجات جينية، وكذلك أدوية جينية لمرض السرطان[111-113]، والبحث عن طرائق ملائمة للتوصل إلى لَقاحات جينية، تكسب الجسم مناعة دائمة ضد عدد من الأمراض، ستفيد هي الأخرى من مشروع الجينوم البشري [هذا، ويمكن، من أجل الإطلاع على تفاصيل أوسع عن موضوع الأدوية الجينية، الرجوع إلى المقالة الموسومة بالعنوان «**الأدوية الجينية الجديدة**» «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **11** العدد **5** مايو (أيار)، الصفحات 36 ـ 42 (1995)، التي هي ترجمة للمرجع 113].

9.4.1. المعالجة بالجينات

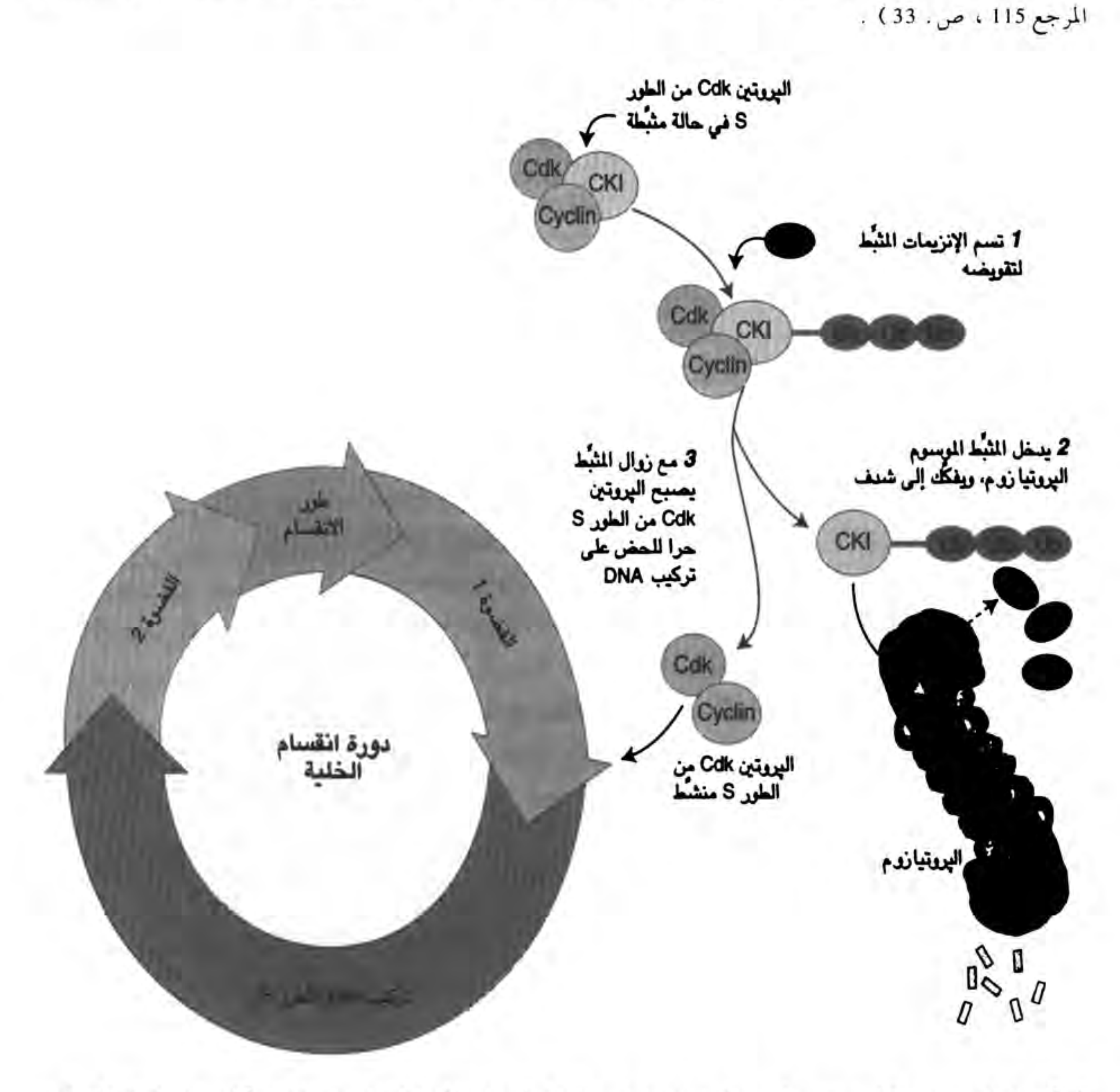
لا يطمح العاملون في حقل المعالجة بالجينات من باحثين وأطباء إلى تصحيح معظم (إن لم يكن كل) العيوب الجينية المتمثلة بالأمراض ذات المنشأ الوراثي فحسب، بل التوصل إلى إيجاد معالجات جينية مناسبة لعدد كبير من أنواع الخباثة (التسرطن)، سواء بجعل الخلايا السرطانية تستموت، أو بالحيلولة دون تعطل عمل الجينات الكابتة للأورام، وفي مقدمتها الجين p53[114] (يُرجع إلى الحاشيتين 6.4 و 8.12)، أو التحكم بالأنزيمات والبروتينات التي تنظم انقسام الخلية[115] (الشكلان 9.12 و 9.13)، أو كما يتم حالياً بتفعيل التائيات سامة الخلايا، لتقوم بقتل الخلايا السرطانية.



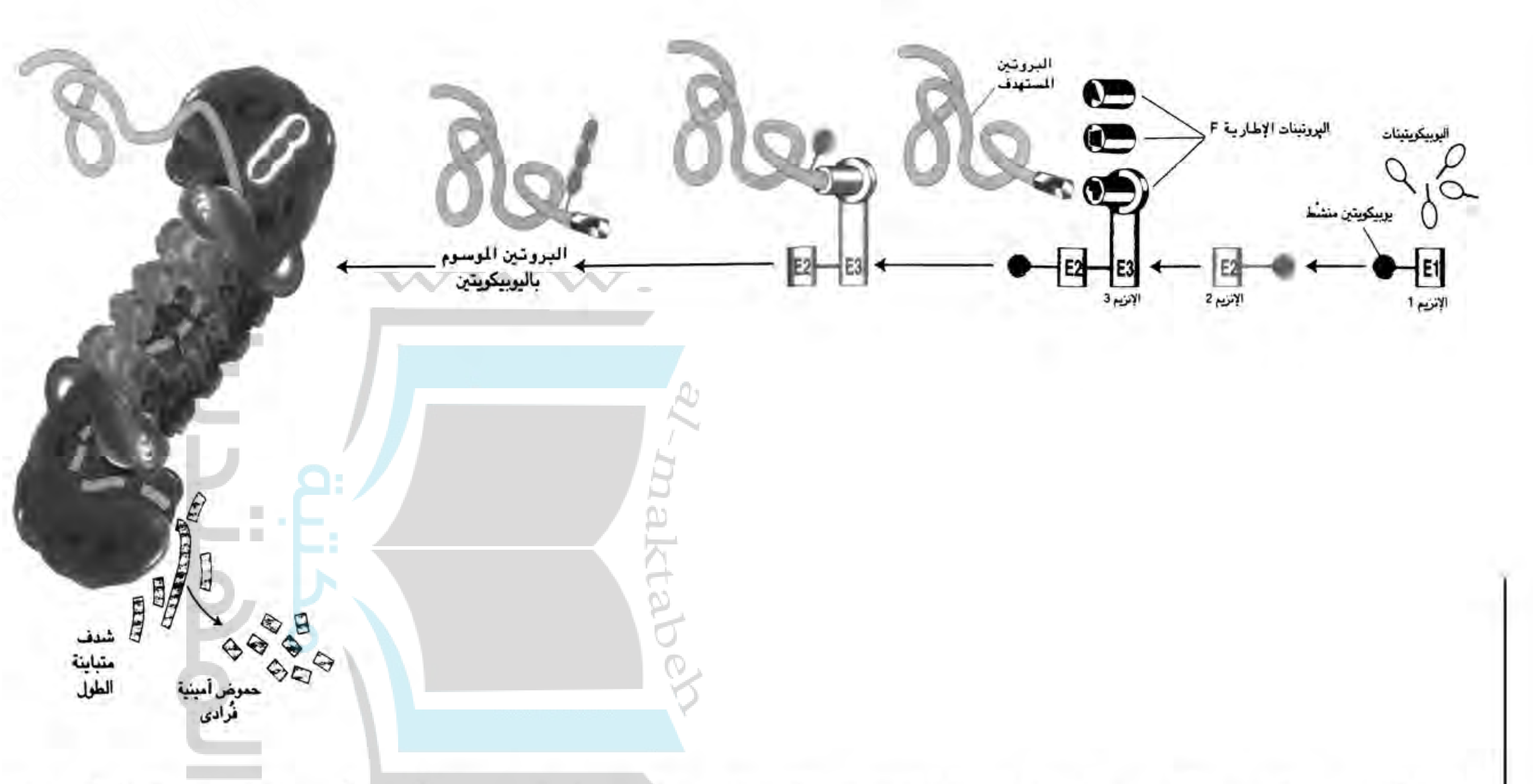
الشكل 12.9 -أ (الشرح في الصفحة التالية)

110. Galibert, F., Science **281** , 1286-1287 (1988).
111. Moffat, A. S., Science **253** , 510 - 511 (1991).
112. Agrawal , S., Tibtech **14**, 376-387 (1996).
113. Cohen, J.S. and Hogan, M.E., Scientif American , **December** (1994) 50 - 55.
114. Chene, P., La Recherche **323** , 46 - 50 (1999).
115 Valette, A. et Ducommun, B., La Recherche **310** , 32 - 36 (1998).

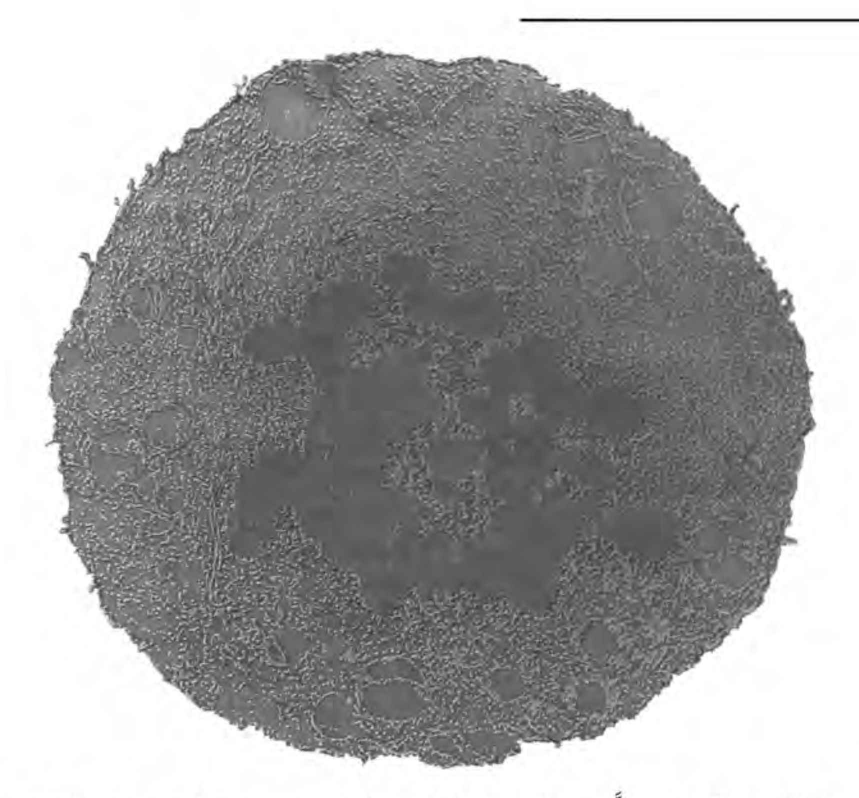
الشكل 12.9-أ. مخطط ترسيمي لأطوار الدورة الخلوية (يُرجع أيضاً إلى الشكل 37.8) . إن الكينازات المنوطة بالسيكلين cyclin dependen kinases (CDK) (وبخاصة الأنزيمان cdc2 و cdc25) تضبط الانقسام الخلوي بتنظيمها الأطوار الخمسة (G_0 و G_1 و S و G_2 و M) للدورة الخلوية . فبعد انقسام الخلية عدداً محدداً ومبرمجاً من الانقسامات ، تغادر الدورة لتصبح في الطور G_0 ، لتذهب في اتجاهين: الغالبية العظمى منها تتمايز لتصبح خلايا وظيفية في نسيج من النسج ، وقسم ضئيل نسبياً يدخل حالة الهجوع ، ليعوض باستمرار عن الخلايا الوظيفية التي تستموت . ويطلق على هذه الخلايا الهاجعة (التي توجد في النسج كافة) اسم الخلايا الجذعية (الشكل عن Valette et Ducommun,1998 ، المرجع 115 ، ص. 33) .



الشكل 12.9-ب مخطط ترسيمي لدور البروتيازوم في حلمهة البروتين المثبط للانقسام .CK1 [القسمان (ب) و(جـ) من الشكل 12.9 عن .Goldberg, A. L. et al «مجلة العلوم» (الكويت)، المجلد **17** العددان **6** و **7** يونيو ـ يوليو (حزيران ـ تموز) (2001) 45-40]



الشكل 9 . 12ـ جـ. مخطط ترسيمي لآلية تقويض البروتينات الهرمة أو الطافرة أو ذات الانثناء الخاطئ، أو التي يجب التخلص منها (تثبيطاً أو تفعيلاً)، بوساطة البروتيازوم الذي يُعدُّ كبروتينات الكرب او الصدمة الحرارية (يرجع الى الفقرة 8،2،3) ، والجين p53 وما يماثلها من الجينات كابتة الاورام ، والتيلوميراز (يرجع الى الفقرة 8،4)، يُعدُّ اذاً جزءاً من جهاز ضبط الجودة في الخلية . والبروتيازوم proteosome هو بنية تبلغ كتلتها الجزيئية النسبية ما يقرب من مليوني دالتون ، اكتشفت في اواسط ثمانينات القرن الماضي ، ولها شكل النفق، تَدخل فيه البروتينات ذات الأنثناء الخاطىء ، أو البروتينات الطافرة ، أو البروتينات التالفة بسبب إنتهاءأجلها ، بعد أن توسم للموت بربطها بروتين كلي الوجود ، ذي كتلة نسبية منخفضة نسبياً (ما يقرب من 15 كيلو دالتون)، هو اليوبيكويتين ubiquitin . ينشط هذا الارتباط البروتين الذي يجب التخلص منه . فيسلم إلى سلسلة من الأنزيمات : هي E1 و E2 و E3 تسليماً ميكانيكياً . يدخله عندئذ الأنزيم E3, بعد أن يبسطه ـ يمدده ـ البروتيازوم، الذي يحوي انزيمات حلمهة ، تقطعه إلى شدف صغيرة ، ثم إلى حموض أمينية إفرادية ، يعاد استعمالها ـ تدويرها . فالبروتيازوم يعمل إذاً كالمخلعة (الغرفة المشؤومة) في القرون الوسطى ، التي كان يدخل فيها المحكوم عليه بالأعدام ، حيث كان يمدد على طاولة خاصة ، فتقوم سكاكين ، معدة خصيصاً لهذا الغرض ، بتقطيع جسده إلى قطع .



الشكل 9 . 13 - أ . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلية في بداية الطور التالي metaphase ، métaphase من الطور الانقسامي M للدورة الخلوية . لاحظ زوال غشاء النواة [عن Dutrillaux, B., La Recherche **308**, 68-77 (1998) ص . 70] (يُرجع أيضاً إلى الشكل 8 . 36 لمقارنة بداية الطور التالي بنهايته حيث تنتظم الصبغيات على الصفيحة الاستوائية) .



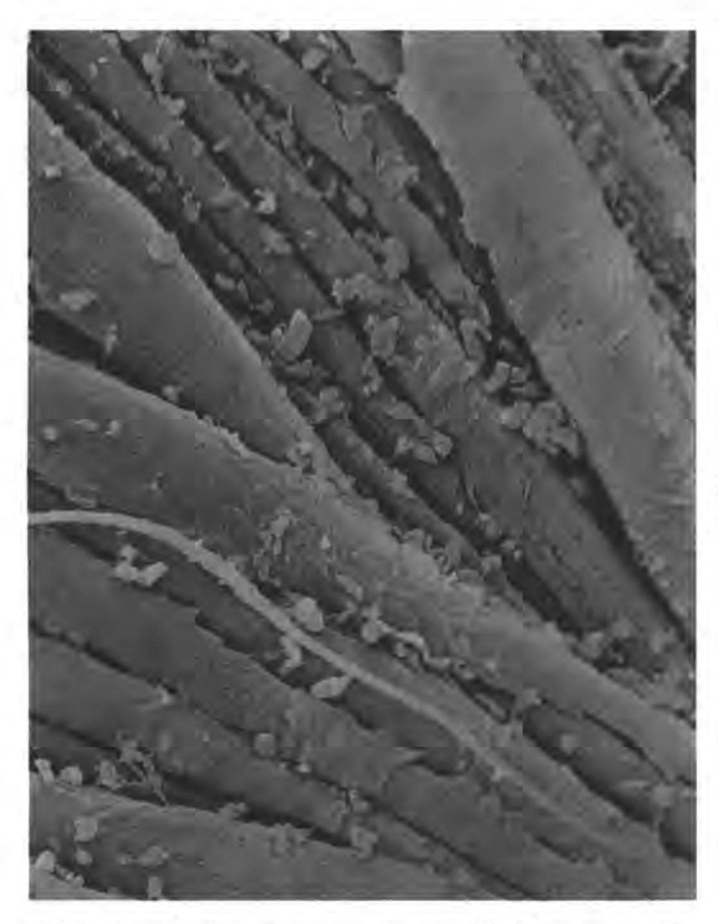
الشكل 9 . 13 - ب . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلية في الطور الانتهائي telophase ، télophase من الطور الانقسامي M للدورة الخلوية . لاحظ تقاصر ألياف المغزل باتجاه قطبي الخلية حيث وصلت إليهما الصبغيات البنات (عن Valette et Ducommun,1998 ، المرجع 115 ، ص . 32) .

وليس التسرطن (كما سبق أن عرضنا غير مرة، يُرجع إلى الفقرة 8.4) سوى تمردعلى آليات التنظيم هذه. كما تستهدف هذه المعالجات الجينية للسرطان أنزيم التيلوميراز[116-117] (يُرجع إلى الشكلين 8.36 و 8.37). إن هذا الأنزيم يعمل، كما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الحاشية 8.14) كساعة بيولوجية ذات دقة عالية، تضبط عدد انقسامات الخلية. ويمكن التوصل إلى معالجات جينية للأورام الخبيثة بالتحكم بعملية تمتيل DNA، ADN [118-119] (الشكلان 9.14 و 9.15) (يُرجع أيضاً إلى الحاشية 7.12)، أو بالإفادة من بروتين طبيعي يمكن إدخاله في الخلايا، ويعرف بالبروتين المتألق الأخضر (GFP)green fluorescent protein, protein fluorescente verte[120] (الشكل 9.16). ويمتاز هذا البروتين بشدة تألقه الأخضر، وسهولة التعبير عن الجين الخاص به داخل الخلية، ويمكن بوساطته اقتفاء أثر انتقال الخلايا السرطانية. أما في ما يتعلق باستعماله في المعالجة الجينية، فإن هذا البروتين يسبب تألق الجين الذي يرغب في استبداله بالجين المعيب. ومما يزيد من أهمية هذا البروتين في المعالجة الجينية صغر كتلته، وإمكان قياس تركيزه في الخلية الحية دون اللجوء إلى تخريبها، واستعماله كمستقبل لحزمة من الليزر بهدف تخريب عُضَيَّة بعينها توسم بهذا البروتين، وتوجد هذه العُضَيَّة داخل الخلية الواحدة. وتجدر الإشارة إلى دراسة مفصلة لموضوع المعالجة الجينية ظهرت عام 1998[121] وتتألف من سبع مقالات، تتناول الجوانب المختلفة لهذا الموضوع المهم، وتنطوي على كثير من التفاؤل الحذر الذي بددته (في ما يتعلق بمعالجة السرطان خاصة) الوفيات المتتالية لمرضى التجارب، التي أجريت في أثناء العام 1999 [94] وعلينا، قبل أن



الشكل 9.14-أ. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلايا في النخاع الشوكي، حيث تظهر العصبونات باللون الوردي، والخلايا النجمية باللون الأخضر. إن كل نسيج من نسج الجسم (التي يفوق عددها ثمان مئة نسيج)، يحوي خلايا احتياطية هاجعة (هي الخلايا الجذعية) تعوض عن الخلايا التي تستموت (الشكل عنSzyf,1999، المرجع 119، ص. 56).

116. De Lange, T., La Recherche **322** , 58 - 60 (1999).
117. De Lange , T. and DePinho, R. A., Science **283**, 974 (1999).
118. Chen, R.Z. et al., Nature **395**, 89 - 92 (1998).
119. Szyf, M., La Recherche **324** , 56 - 62 (1999).
120. Hebshi , L. et. al., Biotech Lab **4/2**, **1**,**14** - 16 (1999).
121. Thérapie Génique, La Recherche **315** , 51 - 75 (1998).

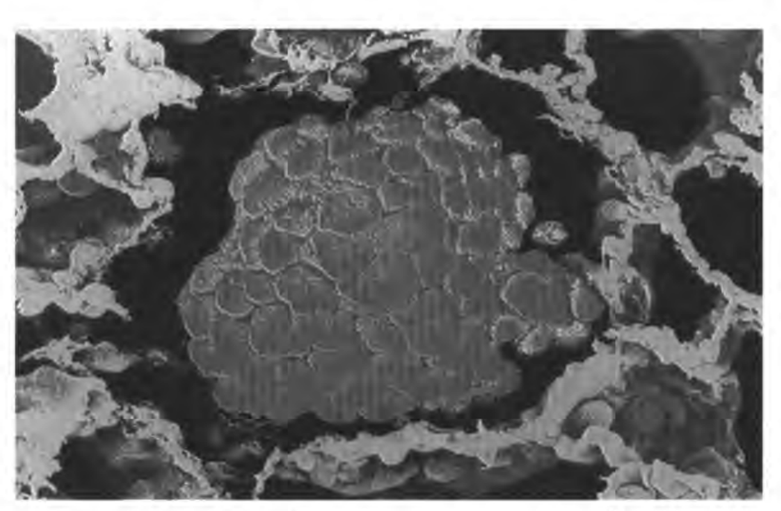


الشـكل 9 . 14-ب . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسـي (الماسـح) لخلايا عضلية ملس من البوق (بوق فَلوب) للمرأة (عن المرجع الوارد في الشكل السابق- 9 . 14-أ) .

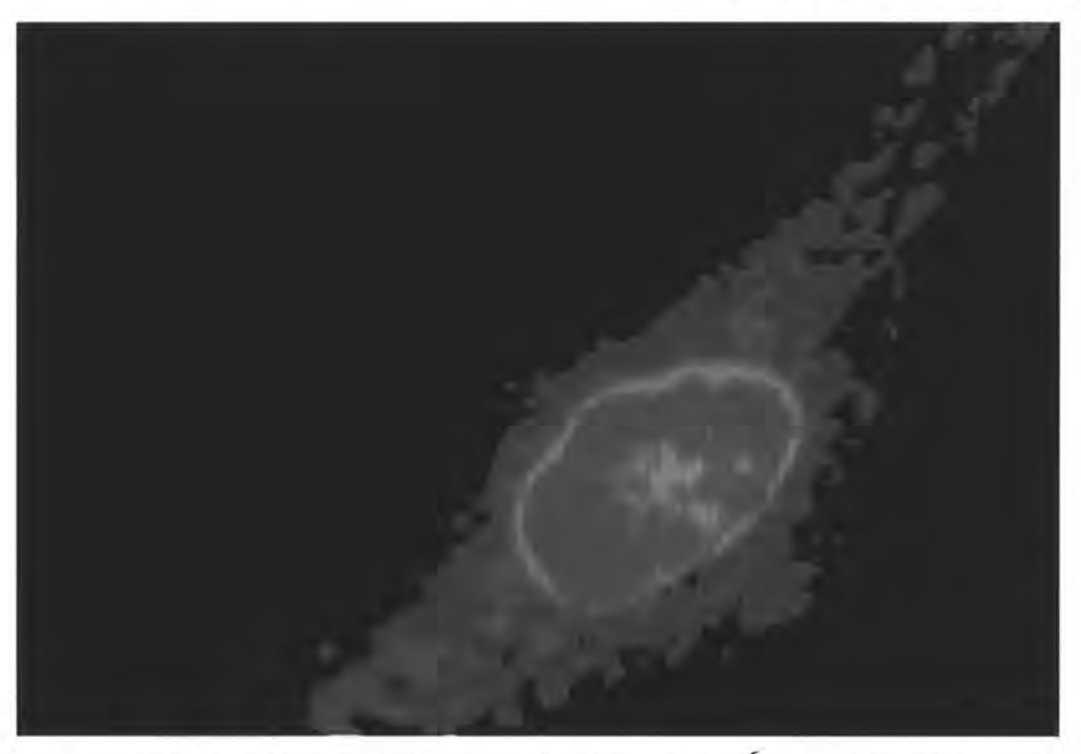
نـعرض لبعض جوانب أسس المعالجــة الجينية (وللسرطان منها خاصة)، أن نشـير إلى مجموعة من المقالات المهمة التي نشـــرت بالعــربية في«مجلــة العلـوم» (الترجمة العربية لمجلة«ســاينتفيك أمـريكان»)، والتي تصدر في الكويت. ويبين الجدول 9 . 3 المعلومات المتعلقة بهذه المقالات.

الجدول 9 . 3. المقالات ذات الصلة بالمعالجة الجينية التي نشرت في «مجلة العلوم».

المؤلف	عنوان المقالة	رقم المجلد	رقم العدد	رقم الصفحة	العام
"R.M.كابيتشي"	استبدال جينات مستهدفة	12	2	20	1996
"W.C. كريدر"	التيلوميرات والتيلوميراز والسرطان	12	6/5	28	1996
"W. فلاندز"	حيوانات محورة جينياً كمصانع للأدوية	13	4	34	1997
"L.PH. فلِكر"	استراتيجيات لا فيروسية للمعالجة بالجينات	14	4	52	1998
"S. ميرسكي"	الاستنساخ والمعالجة الجينية	14	4	70	1998
"T. فريدمان"	التغلب على عوائق المعالجة الجينية	14	4	44	1998
"F.W. اندرسون"	المعالجة الجينية	14	4	38	1998
"W.D. هو"	المعالجة الجينية للجهاز العصبي	14	4	64	1998
"M. بليز"	معالجة جينية للسرطان	14	4	58	1998
"G. ستيكس"	هل ما زال الفحص الجيني (لكشف السـوطان) سابقاً لأوانه ؟	14	2/1	51	1998



الشكل 9 .15. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماســـح) لــورم صغير (الأحمر) في الــرئة (الخلفية الزرقاء العاتمة والباهتة) . لاحظ انتشار الخلايا السرطانية (النقائل) التي تنسلخ عن الكتلة الأم، وتهاجر في الدوران إلى نواحٍ قريبة (كما في الشكل) وبعيدة (غير مبينة هنا) (الشكل عن المرجع الوارد في الشكل 9 . 14 - أ) .



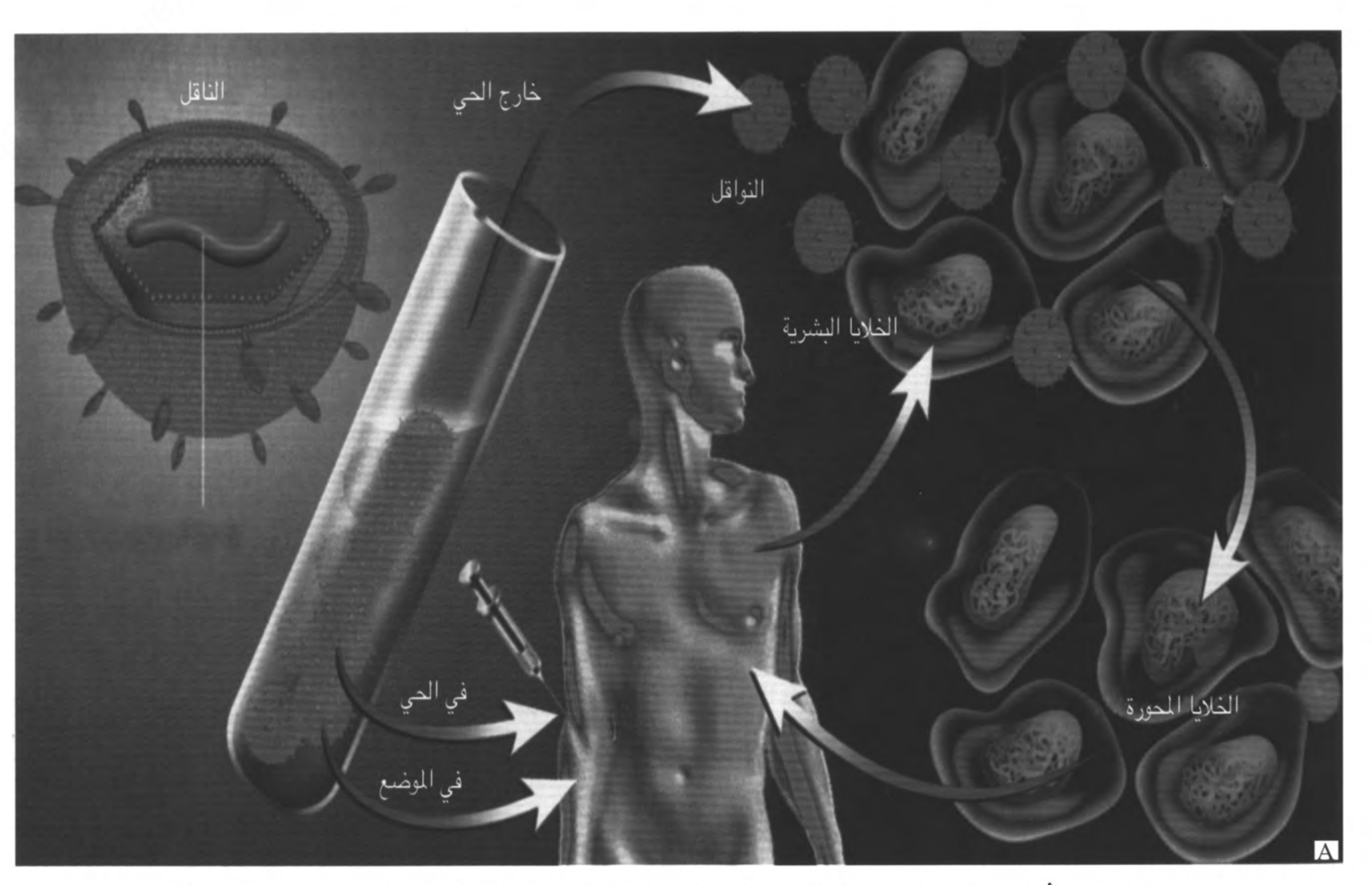
الشكل 9 .16. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلية حُقن فيها جين البروتين المتألق الأخضر GFP الذي جعل بروتينات النواة تتألق باللون في موجة قريبة من الأشعة فوق البنفسجية ، يبلغ طولها 395 نانومتراً . إن استعمال البروتين المتألق الأخضر يلاقي نجاحاً واسعاً في تطبيقات مهمة بسبب خصائصه غير السامة ، وإمكان وسم خلية واحدة بهذا البروتين ، حيث يمكن عندئذ اقتفاء أثر التعبير الجيني ، أو قتل الخلايا السرطانية ، أو اقتفاء نقائلها ، أو في الجراحة الليزرية الصغرية الاجتثاثية . ولكي يتم التعبير عن البروتين المتألق الأخضر ، فإن الجين الخاص به (الذي اكتشف لأول مرة في معائيات الجوف ـ ومنها قنديل البحر)، يُدخل في نواة الخلية ليعمل كجين مقرر reporter gene ، gene reporteur . ويستعمل الجين المقرر عادة كمؤشر على مدى فاعلية مُعزز ما بتأشيب جينه بجين رئيس في DNA ، ADN خلية من الخلايا . كما يمكن الحصول على فأر يتألق كامل جســمّه بتأشيب جين البروتين المتألق الخضر في DNA ، ADN بيضة هذا الفأر (الشكل عن Hebshi, et al,.1999 ، المرجع 120 ، ص. 1 - الشكل الافتتاحي) .

وكما كنا عرضنا غير مرة، فإن تشكل الخباثة غالباً ما يقتضي حدوث ست طفرات متعاقبة، تصيب ستة جينات مختلفة، إنما مترابطة وظيفياً في المكان والزمن. ويأتي في مقدمة هذه الجينات ما هو كابت منها للأورام، وبخاصة الجين p53، والجينات المماثلة. ومع أن الأسباب المؤدية إلى نشوء التسرطن متنوعة جداً، فقط تؤدي الجذور الحرة المؤكسدة الدور الرئيس في هذا النشوء[122]. وتتشكل الجذور الحرة بصورة أساسية نتيجة أعمال الاستقلاب مولدة للطاقة التي تستعملها خلايا الجسم. فالأغذية الأساسية تؤكسد (تُحرق) بوساطة الأكسجين لتشكيل هذه الطاقة. وتفلت في أثناء عمليات الأكسدة هذه ذرات من الأكسجين تحمل الواحدة منها إلكتروناً واحداً عوضاً عن إلكترونين اثنين، وتكون هذه الذرات ذات فاعلية تأكسدية عالية، فتسبب (في نهاية سلسلة من التفاعلات) تحطم الروابط في الجزيئات البيولوجية الكِبرية (وبخاصة DNA، ADN)، الأمر الذي ينتهي بحدوث الطفرات، ومنها ما يتناول الجينات الكابتة للأورام، معطلاً إياها. وتقوم المعالجات الجينية الحالية للخباثة (التسرطن) بدفع الخلية السرطانية إلى الاستموات، أي طلب الموت، أو إلى قتلها بالخلايا اللمفاوية التائية سامة الخلايا.

ويُعمد في المعالجة الجينية أساساً (كما سبق أن عرضنا) إلى تحميل الجين المعني على بلزميد، أو فيروس عُطلت مقدرته على التكاثر، كما ويستعمل أحياناً DNA، ADN عارياً[123]. فبعد أن تأخذ الخليةُ الحاملَ (أو الجينَ نفسَه عارياً)، تقوضه في داخلها بوساطة الأنزيمات التي توجد في جسيماتها الحالّة lysosomes. أما أكثر المراحل صعوبة وتعقيداً، فتتمثل بأن يجد الجين المعني (وقبل أن تُقوَّض نسخه كلها) مكانه الصحيح ضمن تسلسلات DNA، ADN الكروماتين، ليتكامل معه، وليعبّر عن نفسه تعبيراً سوياً (أي أن يتوضع في تسلسل يحوي محضضاً ومعززاً ملائمين). ويُفترض أن يتم ذلك بسيرورة جزيئية معقدة، تعرف بالتأشيب المماثل recombinaison homologue, homologous recombination، يرجع إلى الشكل 9.9-أ[انظر: "M.R. كابيتشي»، «استبدال جينات مستهدفة»، «مجلة العلوم»، (الكويت)، المجلد **12** العدد **2** فبراير (شباط) 20-28 (1996)]. انظر أيضاً الصفحة 71 والشكل 6.2 من الكتاب الموسوم بالعنوان «الاستنساخ: جدل العلم والدين والأخلاق»، دار الفكر، دمشق، 1997. ولقد شاعت منذ سنوات قليلة فكرة مؤداها أن نواة الخلية تحوي نظاماً أنزيمياً يقوم بقراءة تسلسلات DNA، ADN كلها. فعندما يعثر هذا النظام على التسلسل الملائم، يُدخِل النظامُ الجينَ المعني مكان الجين المعيب. ولكن لم يتم حتى الآن البرهان تجريبياً على وجود هذا النظام. كما يمكن للمعالجة أن تستهدف قتل الخلية السرطانية قتلاً مبرمجاً (الاستموات)، أو كبت الجين الورمي، أو إزالة التثبيط عن الجين الكابت للورم (كالجين p53 مثلاً والجينات ذا الصلة). كما يمكن للمعالجة الجينية أن توقف تزويد الخلايا السرطانية بمواد عيشها (أي توقف وصول الغُذّيات والأكسجين إليها) بمنع وصول الدم إلى هذه الخلايا. أو كما ذكرنا غير مرة، بتفعيل اللمفاويات التائية سامة الخلايا. هذا، ويوضح الشكلان 9.17 و 9.18 المراحل الأساسية للمعالجة الجينية، هذا ونلفت نظر القارئ إلى أن «مجلة العلوم» (الكويت) المجلد **14**، العدد **4**، الصفحات 38-42 و 43-71(1998)، نشرت تقريراً مفصلاً عن كيفية انجاح المعالجة الجينية. كما أن مجلة La Recherche، المجلد **315**، الصفحات 51-60 (1998) نشرت تقريراً مماثلاً.

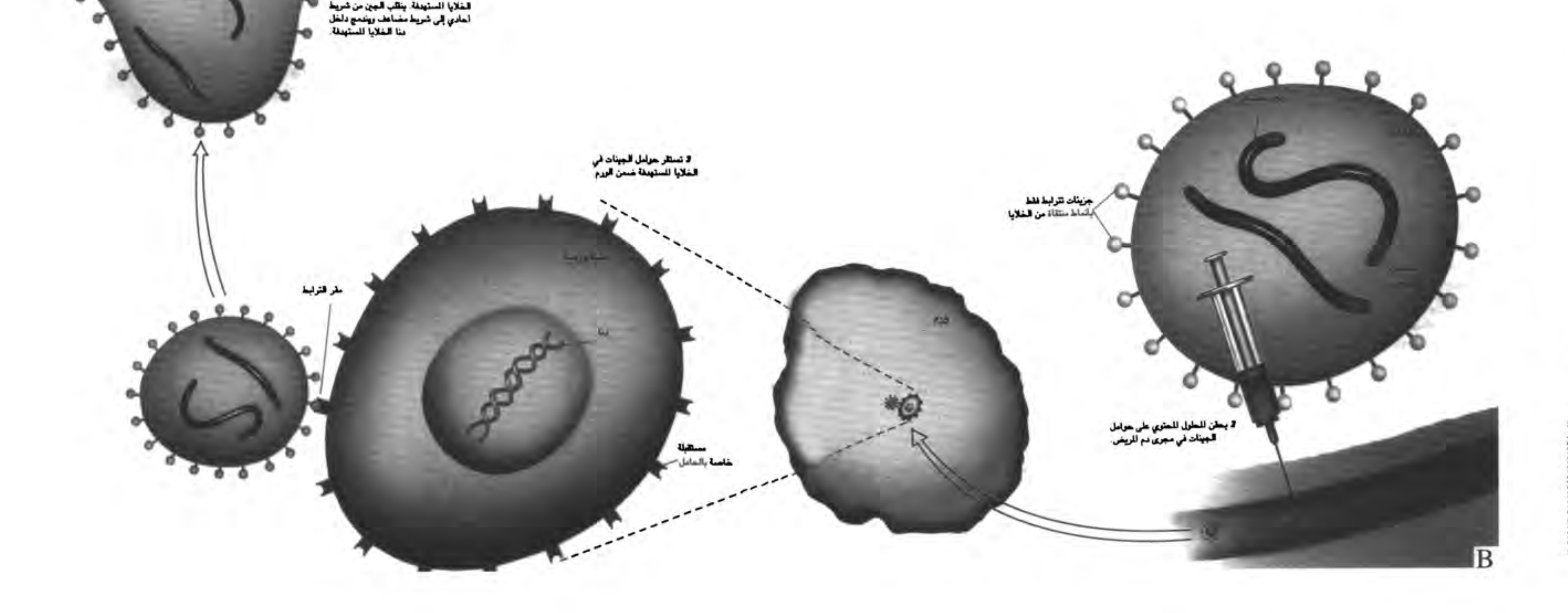
122. Delcourt, C., La Recherche **322**, 62-65 (1999).

123. Anderson, W.F., Scientific American, **September** (1995) 124 - 128.



الشكل 9 . 17–أ. (A) عن المرجع 121: (1998) 51-62 , Anderson, W.F. La Recherhe **315** (تقرير «المعالجة الجينية») (الشرح في الصفحة التالية).

الشكل 17.9-أ. مخطط ترسيمي لثلاث من مراحل المعالجة الجينية(A) . يتم في المعالجة الجينية لخلايا الدم (وهي الأكثر سهولة بالنظر إلى عدم صعوبة إخراج الخلايا من الجسم وإدخالها من جديد بعد المعالجة) إخراج الخلايا من المريض ، وإدخال الجين السوي (الذي غالباً ما يكون محمولاً على فيروس) عوضاً عن الجين المعيب ، وإعادة الخلايا المعالجة إلى جسم المريض . وغالباً ما يتم تسريب الفيروس الحامل (ويستعمل عموماً الفيروس الغدي adenovirus ، adénovirus) في القصبات الهوائية للمريض ، كما هي الحال في مرض اللزاج المخاطي مثلاً ، أو حقن الفيروس الحامل لذيفان قاتل للأورام في الورم مباشرة ، أو حقن حامل جين الديستروفين dystrophine مباشرة في عضلات المريض المصاب بالحثل العضلي dystrophia myotonica ، dystrophia myotonique (غير مبين في الشكل)[(A) عن المرجع 121]. كما يمكن حقن حامل الجين العلاجي في الدم مباشرة (B) . ومع أنه يمكن من الناحية النظرية استعمال المعالجة الجينية في الحالات الأربع المشار إليها آنفاً ، فإن أكثر استعمالاتها شيوعاً في الوقت الحاضر يقتصر على المعالجة الجينية للخلايا السرطانية ، حيث تُعطى جيناً يؤدي إلى استمواتها . لقد أخفقت المعالجات الجينية التي تم إجراؤها حتى نهاية العام 2000 . [(B). عن تقرير **«كيف يمكن انجاح المعالجة الجينية»**، «مجلة العلوم»، (الكويت) **4,14**، إبريل (نيسان) (1998)ص. 43-71].





الشكل 9.17-ب. مخطط ترسيمي لعدد من النواقل المستعملة في المعالجة الجينية كحوامل للجينات السوية (عن T فريدمان، «مجلة العلوم» الكويت، **14**، **4**، إبريل (نيسان) 43-71، ص .47 (1998)). (تقرير : **«كيف يمكن انجاح المعالجة الجينية»**).

A دورة الحياة لفيروس طبيعي

انتشار الخمج

التجميع

الجينات الفيروسية

الخلية المضيفة

DNA الخلية

B دورة الحياة لناقل جيني علاجي مثالي

الجينات الفيروسية المزاحة

الناقل

الجين العلاجي

لاتتشكل جسيمات فيروسية جديدة

لاتتشكل بروتينات فيروسية غير مرغوب فيها

بروتينات علاجية

لاتتشكل جينات فيروسية

A'

دورة الحياة لناقل جيني علاجي مثالي

الناقل

جين علاجي مغرور

جينات فيروسية مزاحة

B'

دورة الحياة الأساسية لفيروس طبيعي

غياب البروتينات الفيروسية غير المرغوبة

بروتين علاجي

غياب الفيروسات الجديدة

الفيروس

الجينات الفيروسية

غياب الجينات الفيروسية

الخلية المضيفة

انتشار العدوى

البروتينات الفيروسية

النواة

الجسيمات الفيروسية الجديدة

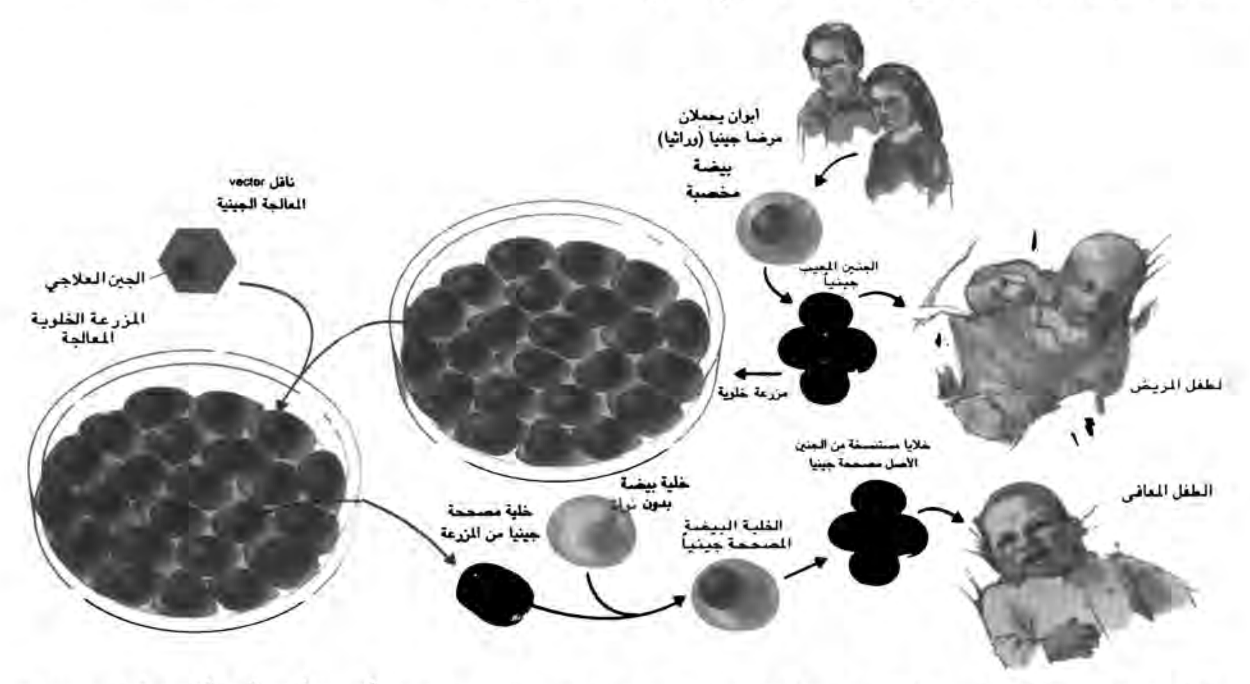
التجميع

الجينات الفيروسية

DNA المضيف

الشكل 18.9-أ . [(A و B) عن المرجع 121، «المعـــالجـــة الجينـية»، (A' و B' عن المرجع الوارد في الشكل 17.9 -ب، ص. 43-71)
(تقرير : **«كيف يمكن انجاح المعالجة الجينية»**) (الشرح في الصفحة التالية).

الشكل 9. 18-أ. مخطط ترسيمي لسيرورة اختراق حامل (أو فيروس حامل) . A . كي يخمج (يعدي) الفيروس خلية ما ، فإنه يتثبت أولاً على غشائها ، ثم يحقن كامل مادته (ما عدا القُفَيصة ـ المحفظة) داخل الخلية . تتحرر عندئذ جينات الفيروس داخل نواة الخلية . فإذا تكاملت مع جينوم الخلية أو لم تتكامل ، فإن جينات الفيروس تستولي (كما يستولي القرصان على السفينة) على آلة تنسخ الخلية ، وتسخرها لتشكيل جيناتها الفيروسية ، ولتكون جُسيمات فيروسية جديدة . يتمزق في النهاية غشاء الخلية ، وتذهب الفيروسات لتخمج خلايا سليمة جديدة [(A) عن المرجع 121، ص 55 ، (A) عن المرجع الوارد في الشكل 17.9-ب]. ولكن عندما يتم تحوير الفيروس كي يعمل كحامل لجين علاجي ، فإن الجينات الضرورية لتكاثر الفيروس تُعطَّل ، ويحل مكانها تقريباً الجين العلاجي . إن الفيروس المحور يخترق الخلية كما يخترقها الفيروس السوي ؛ فيعبر الجين المحمول عن نفسه ، ويعمل على تركيب البروتين العلاجي دون أن تتشكل جُسيمات فيروسية [(B) عن المرجع 121، (B) الوارد في الشكل 17.9-ب، ص. 46) .

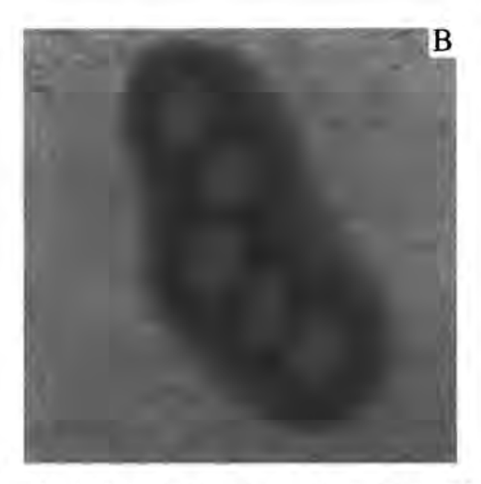


الشكل 9. 18-ب المعالجة الجينية والاستنساخ. يمكن للمعالجة الجينية والاستنساخ أن يحولا - نظرياً - جنيناً معيباً جينياً إلى توأم للجنين نفسه أكثر صحة وعافية. إذ يمكن زرع الخلايا الجسدية للجنين، ثم معالجتها بناقل جيني. تغترس بعدئذ نواة الخلية المحورة في بيضة، نزعت نواتها. بوسع هذه البيضة - من الناحية النظرية - أن تصبح طفلاً معافى من المرض الوراثي [عن S. ميرسكي وJ. ريني، «مجلة العلوم» (الكويت) **4,14**، ص 70-71 (1998)].

9. 4. 2. اللَّقاحات الجينية

كما هو معروف، تهاجم أنواع من الطفيليات، والبكتيريا (الجراثيم)، والفيروسات [(أو ما يعرف بالعوامل الممرضة، أو الممرضات (الشكل 9. 19)] الجسم، وتتكاثر فيه، وتحدث المرض. ويحاول الجهاز المناعي أن يتغلب على الممرِض، ويجرده من سلاحه معطلاً إياه، إمَّا بالفتك به مباشرة، أو بالخلية التي نجح الممرض في الدخول إليها، وإمَّا بإنتاج جزيئات دفاعية نوعية (الأضداد)، تحاول تعطيل فعل الغازي الغريب. وتتشكل في الحالتين كلتيهما، مناعة نوعية ضد المعتدي، قد تطول فاعليتها لتبقى مدى الحياة (وهذه هي حالة النُكاف مثلاً)، أو تقصر، فلا تستمر أكثر من أيام أو أسابيع معدودة (وهذه هي حالة النزلة الوافدة ـ الزكام). ومع أن الجهاز المناعي يشكل (إذا ما ربح المعركة ضد الممرِض المعتدي) ذاكرة خلوية ـ جزيئية مذهلة في دقتها، تتعرف الغازي إذا ما دخل الجسم مرة ثانية، وتختصر مدة التحضير





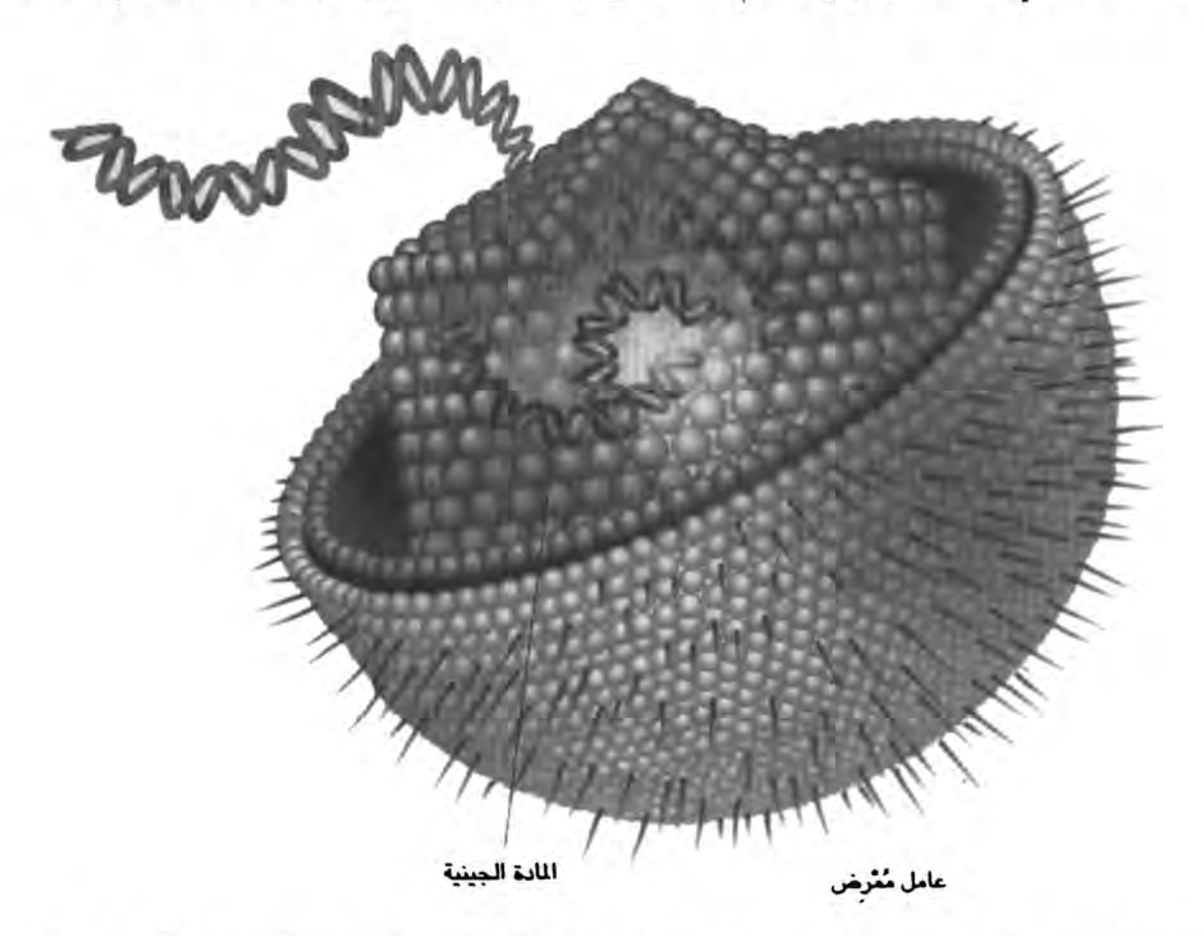
الشـــكل A-19.9. صورة بالمجهر الإلكتروني التفَّرسي (الماسح) للمتفطرة السلية *Mycobacterium tuberculosis* ، العامل المرض الذي يسبب التدرن السلي . إن هذه البكتيرة بدأت تستعصي على المضادات الحيوية الشائعة ، وتختبئ داخل البلعميات الكبيرة . وقد يرجع جزء من السبب إلى الانتقال الأفقي للجينات (انظر الفقرة 9 . 7) [عن La Recherche **324,** 12 (1999)] . B. صورة بالمجهر الإلكتروني التفَّرسي (الماسح) للجســيمات الفيروســية المســؤولة عن الإصــابــة بالنزلة الوافدة influenza ، grippe التي تسببت في جائحة عامي 1918 و 1920 . يحمــل الجُســيَّم الفيروســـي بروتـينين (هـــمـــا الهيمــاغـلـوتيـنين وأنــزيم النــورامينيداز)، يساعدانه على اخــتراق الخـلـية المضيف [عـــن Boto, H. et al., Proc . Natl.Acad.Sci.(USA) **95**, 10224 (1998) ، ورد هــذا المرجع في La Recherche **315**,18 (1998)] .

(اللازمة للجهاز المناعي كي ينازله) من بضعة أسابيع إلى بضع ساعات، فإنه من المفضل ألاَّ يتعرض الجسم لإجراءات معركة، يخوضها الجهاز المناعي، وتكون نتائجها غير مضمونة دائماً. وكما هو معروف، فإن السلاحين الأساسيين. اللذين يستعملهما الجهاز المناعي منوطان بطبيعة المعتدي. فالسلاح جزيئي بسيط (الأضداد التي تنتجها الخلايا البائية المتمايزة، أو الخلايا البلزمية) في حال بقاء الغازي خارج الخلايا، يجول في الوسط الداخلي (الدوران الدموي واللمفي)، فتترابط به الأضداد وتعطله، مرسبة إياه، كي يتخلص الجسم منه. والسلاح خلوي معقد (الخلايا السامة للخلايا)، في حال تمكن الغازي من الدخول إلى الخلايا، حيث يُعمد إلى قتل الخلايا التي تمكن المعتدي من اجتياحها، مما يتوجب التخلص منها. ومع أن للسلاحين المناعيين أنواعاً من العتاد المشترك، يتساند ويتعاضد من خلاله السلاحان الأساسيان، فإن الجهاز المناعي يمتلك أسلحة استطلاع وترصد، وأسلحة خفيفة تُشاغل المعتدي، وتهيئ أرض المعركة للسلاحين الرئيسين. وتتألف هذه الأسلحة الاستطلاعية والخفيفة من الخلايا المساعدة، ومن جزيئات أنواع السيتوكينات.

وكما عرضنا منذ قليل، فإنه من المفضل استثارة الجهاز المناعي (كي يهيئ سلاحيه، ويعدّ عتاده) استثارة صنعية لا تحدث المرض، وذلك بإدخال الممرِض الجسمَ بعد تعطيله، بتجريده من أخطر أسلحته، المتمثلة بمقدرته على التكاثر. ولقد سبق أن ذكرنا أن البكتيرة الواحدة تتكاثر (إذا ما تهيأت لها شروط الحياة المناسبة - داخل الجسم أو خارجه - مرة كل 30 دقيقة، لتعطي بعد 12 ساعة أكثر من مليار بكتيرة أو جرثوم). فالعامل الممرض الذي عُطِّل فعله التكاثري، وخُفِّف تأثيره الممرِض (أو إمراضيته أو ضراوته، أو فوعته virulence)، يستثير استجابة الجهاز المناعي، ويحصّن الجسم ضد المعتدي. وهذا ما يعرف باللَقاح vaccin. ولقد مارس الصينيون التلقيح ضد الجدري منذ العصور القديمة، وكانوا ينثرون بثور المصابين بالمرض (بوساطة أغصان الشجر) على الأصحاء، كي يكتسبوا المناعة ضد الجدري. ولقد اقتبست زوجة السفير البريطاني هذه«التِقنية» من الصينيين، ونقلتها إلى تركية قبل أكثر من مئتي عام من اكتشاف الطبيب الريفي

البريطاني «إدوارد جنر» Edward Jenner (1749-1823) اللَقاح المضاد للجدري بدءاً من جدري البقر. وعلى الرغم من خطورة الطريقة الصينية (التي سببت إصابة عدد من الدبلوماسيين في استنبول بالجدري نتيجة الجلسات الاحتفالية التي كانت تعقدها زوجة السفير البريطاني)، فإنها كانت ناجعة في معظم الأحيان. ويتم حالياً تحضير اللَقاح إما من العامل الممرِض بعد تعطيل تكاثره وتخفيف إمراضيته (بوساطة الحرارة، أو بفعل الفورم ألدهيد ـ ومحلوله في الماء هو الفورومول ـ ذي المقدرة العالية على الأكسدة)، أو من البروتينات السكرية (المستضدات) الموجودة على سطحه.

ويتمثل العيب الرئيس في اللقاحات التقليدية التي أتينا على ذكرها (على الرغم من نجاعتها، بحيث جَنَّبت البشرية أشد كوارث الأوبئة ـ الطاعون مثلاً ـ، وأنقذت أرواح ملايين ملايين البشر، وبخاصة الأطفال)، يتمثل العيب الرئيس إذاً في نظر بعض البيولوجيين الجزيئيين، وبعض علماء المناعة المعاصرين بضرورة تذكير الجهاز المناعي بين الحين والآخر، كي يبقى محتفظاً بكامل جاهزيته، وذلك بإعطاء الجسم جُرَعاً داعمة من اللقاح. ولكن إذا ما عثرنا في الممرِض على الجين المسؤول عن استثارة الجهاز المناعي (الذي يرمِّز الجزيئات التي توجد على سطح العامل الممرض، والتي تراها خلايا الجهاز المناعي، وتتسبب في استثارة هذه الخلايا)، إذا ما عثرنا إذاً على هذا الجين[124] (ويعرف عادة بالمستضدّ السطحي السائد مناعياً) وعزلناه، ثم حَمَلّناه على بلزميد، وأدخلناه إلى الخلايا المعنية (الشكل 9 . 20)،



الشكل 9 . 20.-أ. مخطط ترسيمي لعامل ممرض فيروسي عام (عن Weiner and Kennedy,1999، المرجع 124، ص. 50).

124. Weiner, D. B. and Kennedy, R. C., Scientific American, **July** (1999) 50-57





الشكل 20.9ـب. صورة بالمجهر الإلكتروني التفَّرسي (الماسح) للفيروس المسبب لمرض إيبولا Ebola (ايبولا هو اســم النهــر في إفريقـيا الذي انتشــر المرض القاتــل عـامـي 1976 و 1995 في سكان ضفتيه) [عن Lederberg ,J., Science , **288** , 287-293 (2000) , p.290] .

فقد يجد الجين المرمِّز للمستضدّ السطحي الرئيس (بسيرورة التأشيب المماثل، يرجع إلى الشكل 9.9-أ) مكاناً صحيحاً له في تسلسلات DNA، ADN، ليتكامل معها، ويبدأ بالتعبير عن نفســه (الشكل 9 . 21) بتشـكيله ـ في نهاية عمليتي

جين انتاج المستضد

البلزميد

a

المحقنة

b

البلزميد المحور

العضلة

المسدس الجيني

الجلد

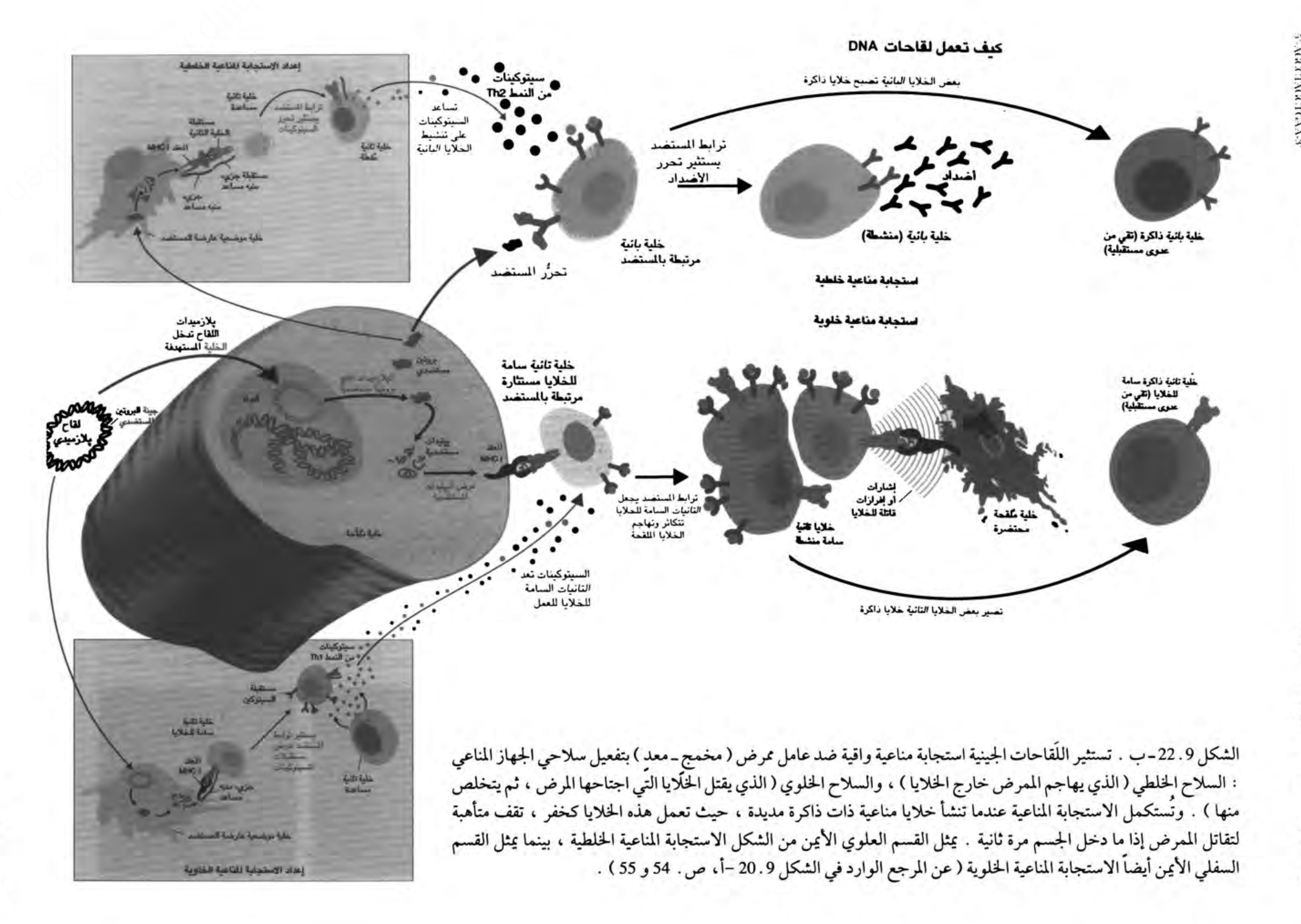
الشـكل 9 . 21. مخطط تـرسـيمي لطريقة تحضير لـقـاح جـيـنـي . تشتمل الطريقة على عزل جين ، أو أكثر ، من عامل ممرض مـا ، وتجديـل هـذا الجينَ في أحد البلزميدات (a) الـذي هـو حـلـقة دائرية منDNA ، ADN . تحقـن عندئذ البلزميدات المأشـويـة في مجمـوعـة قليلة العدد من الخلايا ، غـالـباً مـا تـكون خلايا عضلية (b) ، أو بدفعها داخـل الجلـد (أو داخـل الخلية) بوساطة ما يُعرف بالمسدس الجيني (c) . وبدهي أن تُرَمِّز (تُكوِّد) الجينات المأشوية المستضد (أو المســـتـضـدات) الـــتـي يـحـمـلها العامل الممرض ، وتستطيع هذه الجينات استثارة استجابة مناعية [عـــن المرجــع الوارد في الشكل السابق (9 . 20، القـســم أ)، ص. 51] .

الانتساخ والترجمة ـ المستضدّ الغريب الذي يعرض على سطح الخلية الحاملة له بوساطة جزيء معقد التوافق النسيجي الكبير (يُرجع إلى الفقرة 8 . 3 . 3 وإلى الحاشيتين 8 . 4 و 8 . 8). هذا، ويوضح الشـكل 9 . 22 بعض مراحل فعل اللِّقاح الجيني.

وأخيراً لا بد من الإشارة إلى أن الآمال التي عقدت على اللِّقاحات الجينية (بسبب سلامة المنطق الذي تقوم عليه، والصحة الظاهرية للأسس النظرية التي تستند إليها) لم تأت بنتائج يُعتَدُّ بها. وشأنها في ذلك شأن المعالجات الجينية التي أخذ التشاؤم في تطبيقها يحل مكان التفاؤل. وربما لا يكون سبب الإخفاق كله في قصور التِقنية التي يتم تطبيقها، أو في

الشكل 9 . 22-أ . مخطط ترسيمي لآلية تحريض الاستجابة المناعية من قبل الجينات التي استُعملت لقاحاً . يتم انتاج المستضدات من قبل الخلايا الملقحة في إثر دخول DNA ، ADN المأشوب نواة الخلية المحقونة (1) . تُنسخ الجينات المُرَمِّزة للمستضدات والمحمولة على البلزميد على شكل أشرطة من الرسيل (mRNA ، ARNm) (2) . تعالج هذه الأشرطة في النواة (تزال الإنترونات ويعاد ربط الإكسونات ببعضها البعض، وتوضع القلنسوة على بداية جزيء الرسيل 5َ (أو 5 رئيسة) ، ثم يضاف ذيل عديد الأدنيل إلى نهاية الجزيء 3َ (أو 3 رئيسة) . تذهب الأشرطة إلى السيتوبلازما ، حيث تترجم إلى المستضدات المطلوبة (3 و 4) . ترى (تتعرف) خلايا الجهاز المناعي المستضدات بآليتين اثنتين : فإما أن تغادر المستضدات الخلية التي قامت بإنتاجها (5) . أو أنها تُكسَّر إلى شدف (6) ، تتوضع في فلح نوعي خاص بها يوجد في جزيء معقد التوافق النسيجي الكبير من الصف الأول (7) ، الذي يُعرض على سطح الخلية (8) (عن المرجع الوارد في الشكل 9 . 20 -أ، ص . 52) .



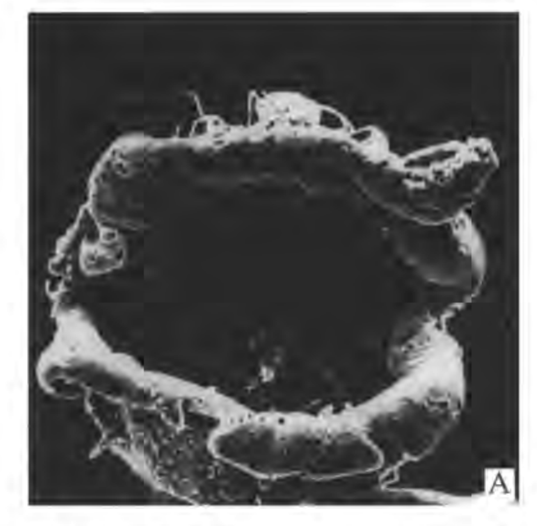


الشكل 9.22-ب . تستثير اللَقاحات الجينية استجابة مناعية واقية ضد عامل ممرض (مخمج ـ معد) بتفعيل سلاحي الجهاز المناعي : السلاح الخلطي (الذي يهاجم الممرض خارج الخلايا) ، والسلاح الخلوي (الذي يقتل الخَلايا التِي اجتاحها المرض ، ثم يتخلص منها) . وتُستكمل الاستجابة المناعية عندما تنشأ خلايا مناعية ذات ذاكرة مديدة ، حيث تعمل هذه الخلايا كخفر ، تقف متأهبة لتقاتل الممرض إذا ما دخل الجسم مرة ثانية . يمثل القسم العلوي الأيمن من الشكل الاستجابة المناعية الخلطية ، بينما يمثل القسم السفلي الأيمن أيضاً الاستجابة المناعية الخلوية (عن المرجع الوارد في الشكل 9.20 -أ، ص. 54 و 55) .

الأدوات والتجهيزات التي يتم استعمالها، بل توجد (في رأينا) أسباب للفشل أكثر عمقاً، وأشد صرامة وعنداً. وقد يتمثل بعض هذه الأسباب في إقحام جين من عامل ممرض (فيروس أو بكتيرة) ضمن جينات الإنسان نفسه. إن التفاوت بين بيئة نوعي الجينات غني عن التعريف. وبالإضافة إلى الخطورة الهائلة، المتمثلة بنقل الجينات نقلاً أفقياً (كما سنعرض لذلك في الفقرات 9 . 6 و 9 . 7 و 9 . 8)، أي من البكتيرة إلى الإنسان مثلاً، بالإضافة إلى ذلك، يحق لنا أن نتساءل عن السبب الذي أعاق الطبيعة عن القيام بهذا النوع من الأفعال ما دامت في صالح الكائن الحي. إن الطبيعة لم تعدم الوسيلة لتحقيق ذلك، لكنها لم تفعل، لأن ذلك سيتعارض تعارضاً صارخاً مع قوانينها. حيث أكدنا غير مرة أنها إرادة الله، التي قادت خُطى التطور الموجه ذي المعنى نحو الانتظام، ومن الأبسط إلى الأعقد بنية، ومن الأقل إلى الأكثر كفايةً وأداءً، وليس باتجاه اللانتظام والفوضى. فاللَقاح الجيني يُدخل الفوضى في الجينوم البشري.

9 . 5. المعالجة بالخلايا الجذعية الجنينية وبالخلايا الجذعية

في إثر إخصاب البيضة من قبل النطفة، تسرع البيضة المخصبة بالانقسام (أو التشطر)، وفقاً لبرنامج بالغ الدقة (يمكن، للاطلاع على تفصيلات أوسع نسبياً لهذا الموضوع، الرجوع إلى الصفحات 33 ـ 57 من كتاب «**الاستنساخ : جدل العلم والدين والأخلاق**»، دار الفكر، دمشق، 1997). وتكون سرعة هذه الانقسامات مذهلة، وكأن البيضة أُطلقت من عقالها، ترتشف متعة الانقسام التي كانت محرومة منه (وهذا ما يذكر بانقسام الخلايا السرطانية، ما عدا أن انقسام البيضة المخصبة مبرمج في المكان والزمن برمجة مذهلة الدقة، في حين أن الانقسام السرطاني «أبدي»، وعشوائي). ونحصل في نهاية مرحلة الانقسام (التي تستمر في الإنسان قرابة أسبوعين من لحظة الإخصاب) على جسم له عادة حجم البيضة المخصبة، ويتألف من نحو 150 خلية تقريباً، تشكل حويصلاً يملأ جوفه سائل خاص أفرزته خلايا الانقسام، ثخانته طبقة خلوية واحدة، ما عدا جانباً واحداً من جوانبه، حيث تصبح الطبقة الواحدة عدة طبقات. ويطلق عموماً على هذه المرحلة (التي تأخذ فيها سرعة الانقسام بالتباطؤ) اسم الأُريِّمة blastula، وعلى الجنين اسم الكيسة الأُريِّمية blastocyst، blastocyste (الشكل 9 . 23). أمَّا الكتلة الخلوية الثخينة التي تتوضع في أحد جوانب الكيسة،



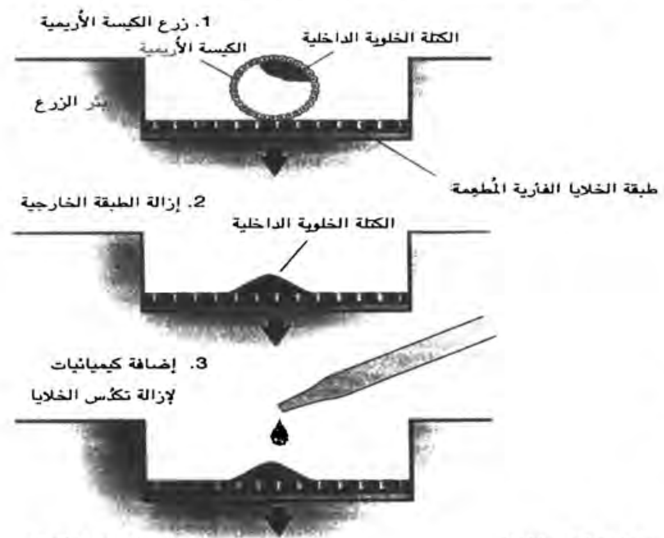


الشكل 23.9-A. صورة مجهرية لجنين إنسان في مرحلة الكيسة الأُريمية، عمره خمسة أيام بعد الإخصاب، ويتألف من مئة وخمسين خلية تقريباً (بعد شق الكيسة وإزالة جزء منها). B . صورة للكيسة الأُريمية كاملة (عن Pedersen,1999 ، المرجع 125 ، ص. 47).

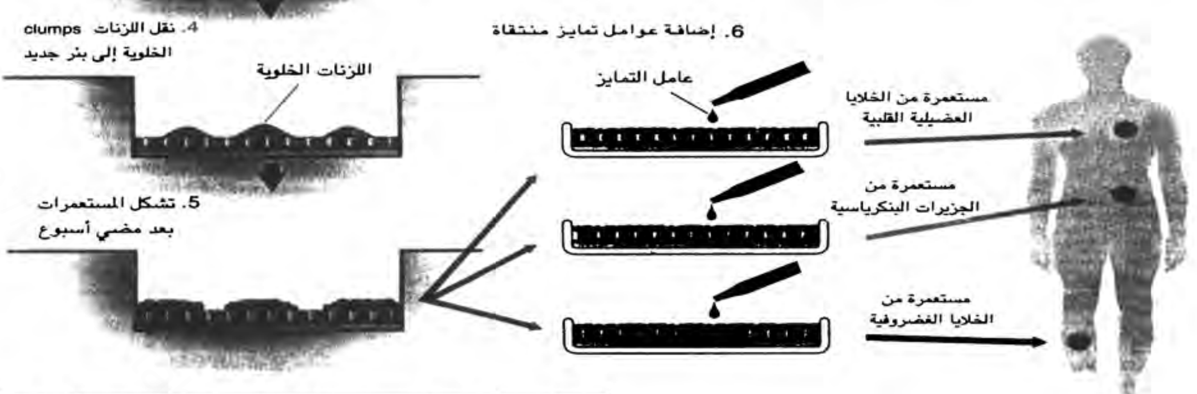
والتي ستعطي جسم الجنين، فيطلق عليها اسم الكتلة الخلوية الداخلية masse cellulaire interne, inner cell mass, وتجدر الإشارة إلى أن خلايا الكتلة الخلوية الداخلية هي خلايا غير متمايزة، ويمكن توجيه تمايزها في المختبر في أي اتجاه يُرغب فيه، فتصبح مثلاً خلايا عصبية، أو دموية، أو عضلية . . . ويستعمل الباحثون الآن تعبير «الخلايا الجذعية الجنينية» embryonic stem cells، cellules souches embryonaires للدلالة على خلايا الكتلة الخلوية الداخلية، والخلايا المماثلة التي تنشأ عن انقسامها (9 . 24). هذا، ويوضح الشكل 9 . 25 مراحل تحضير الخلايا الجذعية الجنينية، وتمايزها لاستعمالها عوضاً عن بعض أنماط الخلايا التالفة [125] .



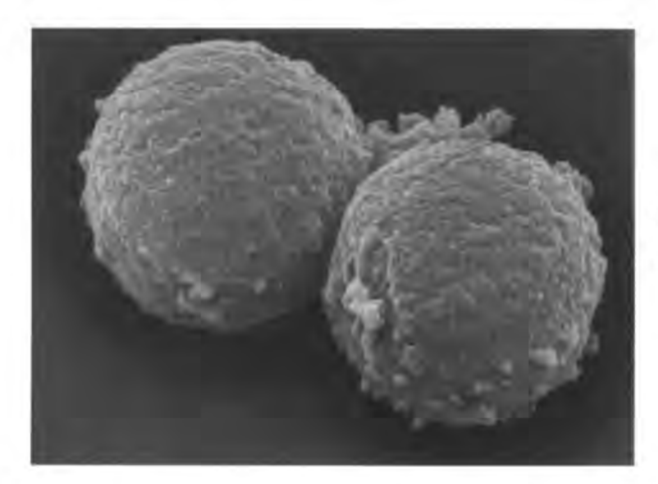
الشكل 9 . 24. صورة مجهرية لمقطع في الكيسة الأُريمية blastocyst، blastocyste، ولجدار الرحم للقرد الريصي rhesus monkey، macaque rhesus في المرحلة الأولى من الاغتراس (عن Gilbert,1994، المرجع 66، ص. 180) .



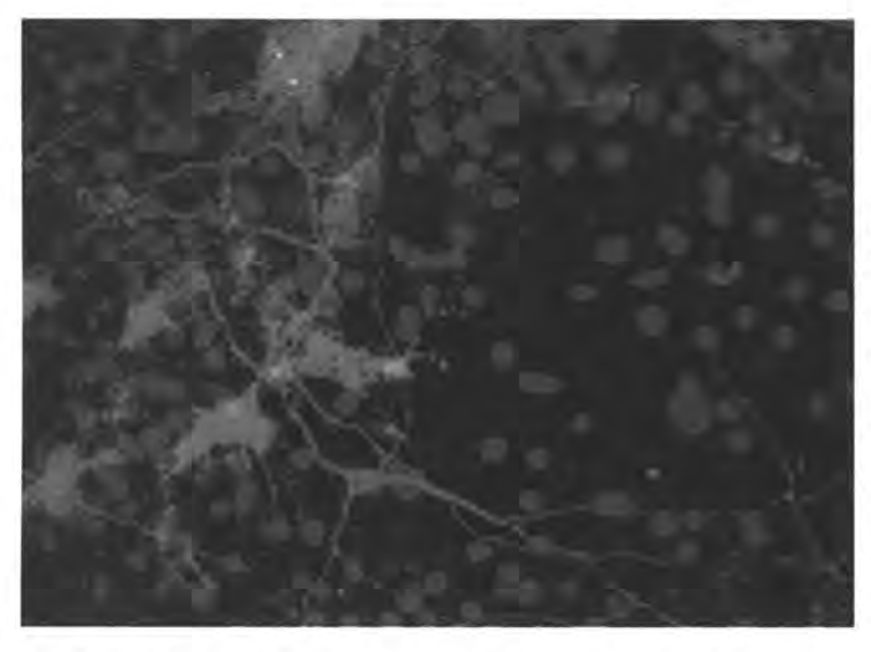
الشكل 25.9-أ. مراحل الحصول على الخلايا الجذعية الجنينية (الكتلة الخلوية الداخلية) وتكثيرها وإمكان استعمالها (عن المرجع الوارد في الشكل9 . 23، ص. 46) .



125. Pedersen , R. A., Scientific American, **April** (1999) 44-49.



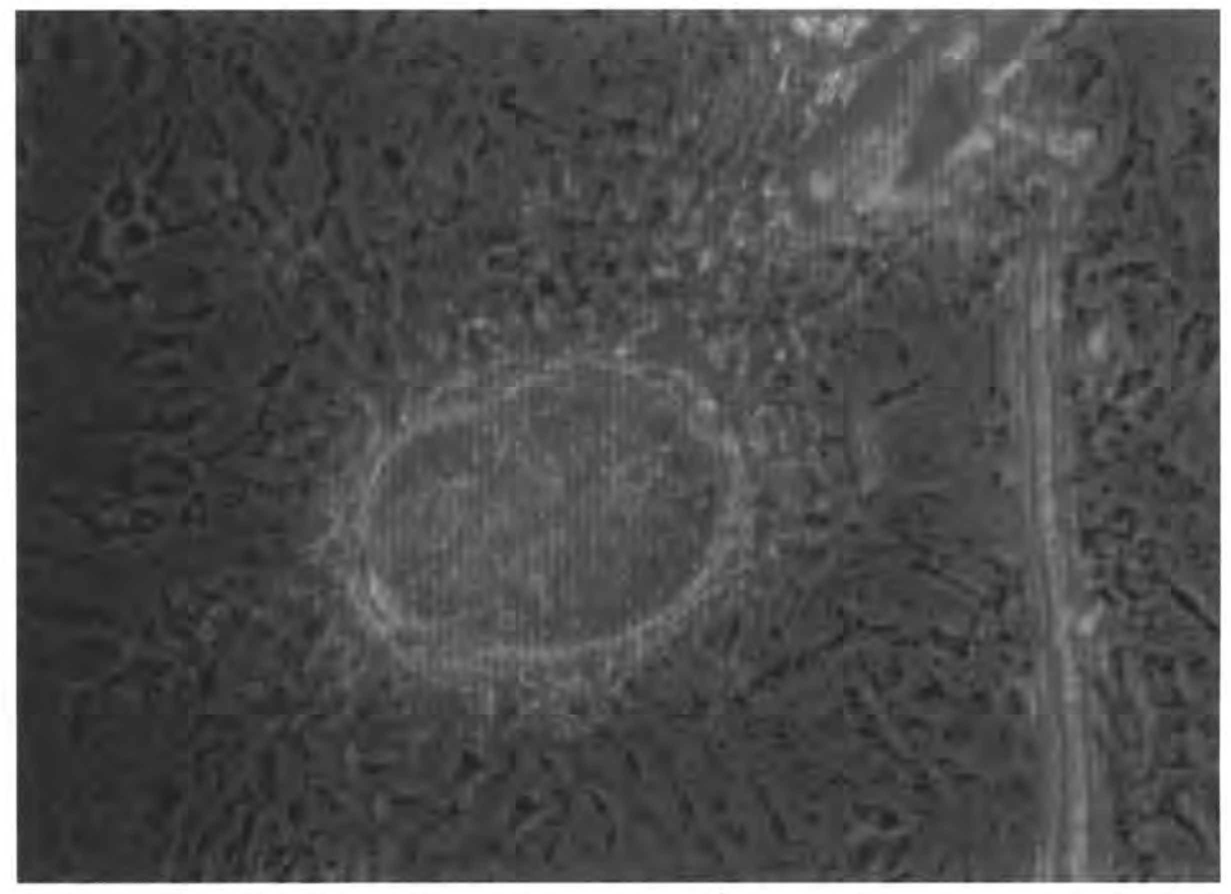
الشكل 25.9 -ب. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرسي (الماسح) لخليتين جذعيتين من جنين الإنسان(2002) 64 .**349** La Recherche.



الشـكل 25.9-جـ. صـورة بالمجهر الإلـكتروني بـعصبونات منتجة للدوبامين، اشتقت من الخلايا الجذعية للفأر، ووسمت بالبروتين المتألق الأخضر، نظهر النوى بالأزرق، يشير اللون الأحمر إلى هدروكسيلاز التيروزين [عن Mckay, R, Nature **406** . 364-361 (2000)].

ويرجع الإمكان الكلي (أو شمول الوسع)totipotency، totipotence لهذه الخلايا (أي مقدرتها على إعطاء أكثر من ثمانمئة نمط نسيجي رئيس ـ وعملياً آلاف أنواع الأنماط) إلى أن DNA، ADN هذه الخلايا لا يرتبط تقريباً بأي زمرة ميتيلية (ذلك أن أنزيم الديميتيلاز ـ نازعة الميتيل ـ تزيل في إثر الإخصاب كل زمر الميتيل عن جينات الأب أولاً، ثم عن جيناتِ الأم، فتغدو كصفحة بيضاء). كما أن الهستونات الخمسة ترتبط بالجينات ارتباطاً لا نوعياً، يمكن أن يكون (كتفاعل التمتيل) عاماً، وقابلاً لإعادة التراتب وكذلك هي الحال في ما يتعلق بأستلة الهستونات. ومع أن الخلايا الجذعية الجنينية تقوم بتركيب البروتينات الأساسية الضرورية لبنيتها وحياتها (أي لبُقياها ـ بقاؤها على قيد الحياة)، فإن عوامل الانتساخ التي تترابط بجينات بروتينات البنية والحياة هي عوامل انتساخ عامة، ولا تستطيع أن تؤدي أي دور في تباين أنواع هذه الخلايا. إن الخلايا الجذعية الجنينية هي خلايا ساذجة naïves، يمكن لها ببرامج نوعية دقيقة (من التمتيل، والترابط النوعي للهستونات، وأستلة الهستونات وكذلك الترابط النوعي لعوامل الانتساخ النوعية)، يمكن لها إذاً أن تمايز، لتعطي أي نوع من أنماط النسج الرئيسة الثماني مئة.

وتمثلت في الماضي صعوبة التعامل مع الخلايا الجذعية الجنينية بإمكان تنميتها في المختبر مع الحفاظ على هويتها الجنينية كلية الإمكان، دون السماح لها بالتمايز إلى أي نمط خلوي محدد. ولكن الباحثين تمكنوا قبل أعوام قليلة (عام 1999) من إيجاد الشروط الملائمة لزراعتها، وتنسيلها في المختبر، دون أن تشرع بالتمايز إلى أي نمط خلوي [126] (الشكل 26.9). كما أضحى بإمكان الباحثين معالجة هذه الخلايا بمواد نوعية توجه تمايزها في اتجاه محدد، كخلايا عصبية [127] أو ألياف عضلية ملساء، أو قرنية بشرية، أو مثانة بشرية [128] وحتى أوعية دموية [129] (الشكل 27.9). كما أن بعض الباحثين قرنوا عمليتي الانتساخ والاغتراس في دراسات، تم فيها نقل الخلايا الجذعية الجنينية المستنسخة، لاغتراسها مكان أنماط

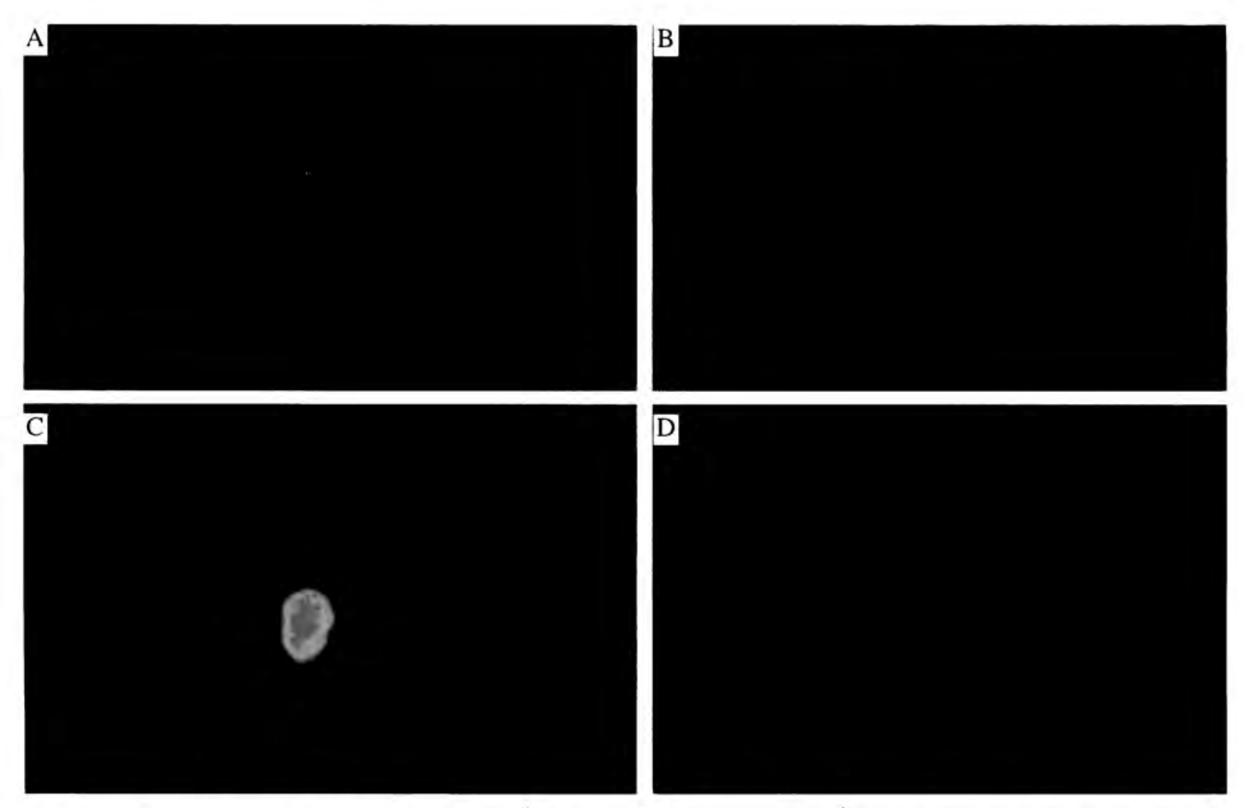


الشكل 26.9 . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلية من الخلايا الجنينية (الكتلة الخلوية الداخلية) (عن المرجع 126، الشكل الافتتاحي، ص. 1).

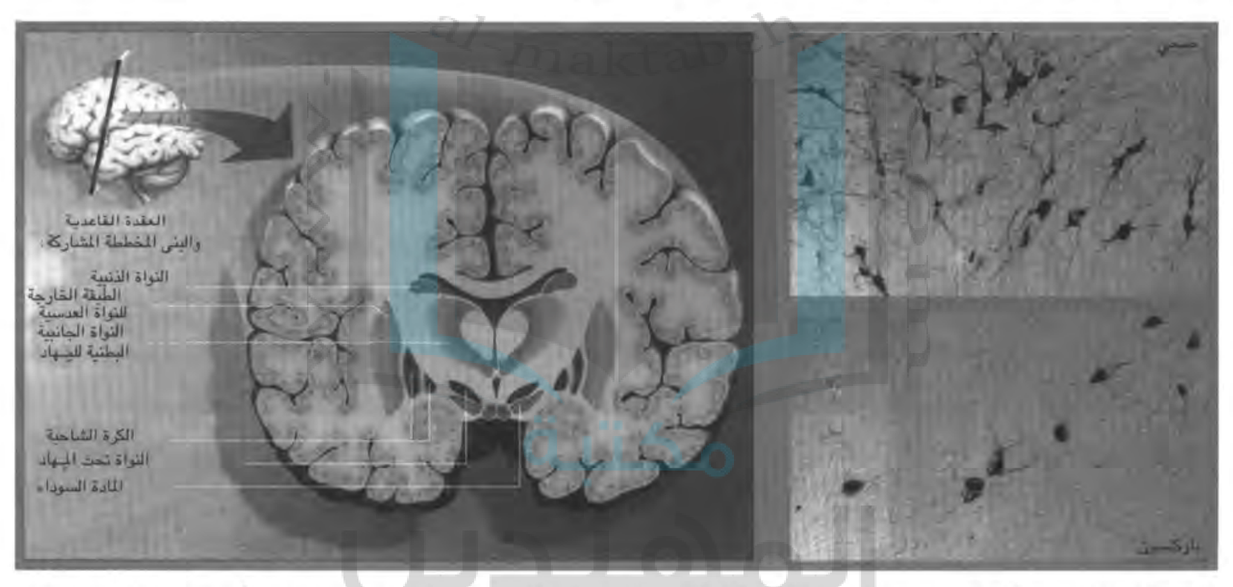
خلوية معيبة. وتم استعمال هذه الخلايا كي تأخذ مكان الخلايا العصبية التالفة المسؤولة عن داء باركنسون مثلاً (الشكل 28.9)، أو مكان خلايا جزر لانغرهانس المعيبة في الداء السكري، أو مكان الخلايا التالفة في مرضى تشمع الكبد. [130] (انظر الشكل 30.9). ويرى مؤلف هذا الكتاب (كما كان أُشير إلى ذلك غير مرة) أن كل نسيج من نسج جسم الإنسان

126. Editorial , Biotech Lab **4/1**, **1-3** (1999).
127. Strauss, E., Science **283**, 471 (1999).
128. Ferber, D., Science **284**, 422-425 (1999).
129. Editorial, Biotech lab **4/4**, **1-3** (1999).
130. Solter, D. and Gearhart, J., Science **283**, 1468-1470 (1999).





الشكل 9 . 27 . صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لخلايا حُصَين دماغ الجُرَذ توضح مراحل تركيب DNA ، ADN (الأخضر) . يمكن اســتعمال هذه الخلايــا الهاجعة (أي الموجودة في الطور G_0 من الدورة الخلوية) كخلايا جذعية في هندسة النســج وفي معالجات خلوية معينة [عن Cameron, H., La Recherche **329**, 29-35 (2000) , p.31.] .



الشــكل 9 . 28. مخطط ترســيمي لمقطع في الدمــاغ (اليسار) يوضح منطقة « المادة الســوداء » التي تتــألف من قرابة نصف مليون عصبون . ترســل هذه العصبونات اســتطالات تصل إلى « الجســم المخطط » striatum وبنى أخرى، تؤدي دوراً أســاسياً في ضبط الحركات . وتتلاشى هذه العصبونات تدريجياً في مرضى داء باركنســون وذلك كما توضح الصــورتان المجهريتان لمقطعين في المادة الســوداء (اليمين) ، العلوية منهما لدماغ بشري سوي ، والسفلية لدماغ إنسان مصاب بداء باركنسون . لقد تمت هذه الدراسة بعد الوفاة مباشرة post-mortem . ويمكن (في معالجة هذا الداء) اغتراس خلايا جذعية شرعت لتوها بالتمايز إلى خلايا عصبية مكان الخلايا المستموتة [عن Damier, Ph. et Brachet, Ph., La Recherche **329**, 38-42 (2000) P . 40] .

والبالغ عددها ثمانمئة أو أربعين ألفاً، يحوي خلايا جذعية هاجعة، تنقسم عند الحاجة لتعوض عن الخلايا التالفة، ويمكن استعمالها في المعالجة وفي هندسة النسج (أو غيرذلك) كخلايا جذعية. ولقد أعلن مؤخراً (آذار - مارس - 2003) عن استعمال خلايا جذعية بالغة في معالجة الاحتشاء القلبي لدى الإنسان، حيث استطاعت خلايا عضلية، أُخذت من إلية المريض نفسه، أن تحل مكان الخلايا العضلية القلبية التالفة(Hagege, A.et al., The Lancet **316**,491(2003), عن La Rechehe **363**, 21(2003).

ولكن، وعلى الرغم من أهمية استعمال الخلايا الجذعية الجنينية في هذا النمط من العلاج، فإن إمكان استغلال الأهداف النبيلة لهذه المعالجات لأغراض مادية (وتوجيهها لتحقيق الربح المالي السريع عن طريق المتاجرة بالأجنة البشرية، وتشجيع النسوة الفقيرات على الإجهاض بهدف بيع أجنتهن) هو موضوع سنعرض له في الفقرة 7.9 من هذا الفصل.

وقد يكون من المفيد أن نشير إلى ضرورة توجيه الأبحاث للإفادة من الخلايا الجذعية التي توجد في كل نسيج من نسج جسم الإنسان البالغ. فإذا ما أصبح بالإمكان عزل هذه الخلايا من الشخص نفسه الذي يحتاج لمعالجة ما، وتنميتها، أو هندستها نسيجياً بالقدر المطلوب، فإن هذه المنابلة ستكون ذات فائدة قصوى، لأن الخلايا المغترسة (كالخلايا بيتا مثلاً في جزر لانغرهانس في البنكرياس والتي تفرز الأنسولين؛ وتتخرب في مرضى الداء السكري، أو العضو المغترس الذي كان هُندِّسَ نسيجياً، لن يرفض من قبل الجهاز المناعي للفرد المعالج، لأن الخلايا أو العضو هما من الذات، (أي أتيا من الجسم نفسه الذي سيُغترسا فيه. وبدهي أن تنطوي الفائدة من الخلايا الجذعية للبالغ على صعوبات تِقنية مختلفة، ولكن على مخاطر أخلاقية أقل من استعمال الخلايا الجذعية الجنينية. ولقد بدأ التسابق منذ الآن على جني أكبر قدر ممكن من الربح المادي من جراء استعمال هذه الخلايا لدراسات ما تزال في مهدها[130-I-130-XII].

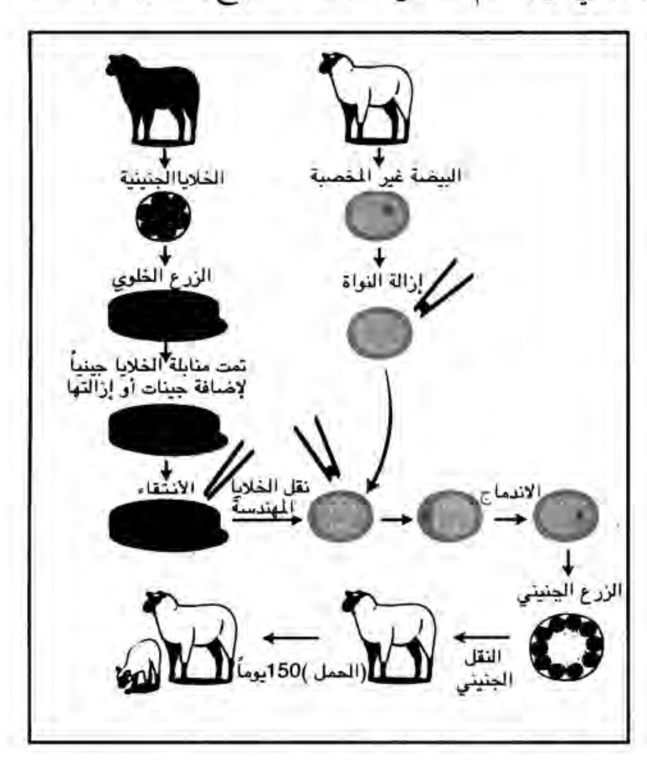
6.9. الاستنساخ وهندسة النسج

إن الاستنساخ cloning clonage (التنسيل) هو تكوين خلية بدءاً من خلية أخرى، أو كائن حي بكامله من كائن حي آخر دون المرور بالتوالد الجنسي. ويمكن القول عموماً إن تكثير جزيء ما، بعد تأشيبه في بلزميد الإشريكية القولونية مثلاً، هو استنساخ (تنسيل أو استنسال) جزيئي. ولقد تم البرهان منذ أواخر القرن التاسع عشر على أن كل خلية من خلايا الجنين الأربع (بعد الانقسام الثاني)، تعطي جنيناً سوياً. وكما كنا عرضنا في الفقرة السابقة، فإن البيضة المخُصبة، والخلايا الأولى المتشكلة نتيجة تشطرها (انقسامها) هي كلية الإمكان (أو شاملة الوسع)، يمكن توجيهها لتعطي أي نمط خلوي من الأنماط الرئيسة الثمانمئة. إن هذا الإمكان الكلي هو في حقيقة الأمر نوع من الاستنساخ الخلوي الكلي. وبالنظر إلى أن تكوين أعضاء كاملة (يُرجع أيضاً إلى الفقرة السابقة) يتم بوساطة خلايا جنينية كلية الإمكان (وتعرف التِقنية عندئذ بهندسة النسج)، فلقد رأينا معالجة موضوعي الاستنساخ وهندسة النسج في فقرة واحدة لأسباب أضحت الآن غنية عن البيان.

130-I. Hines, P. et al., Science **287**, 1417 (2000).
130-II. Vogel, G., Science **287**, 1418-1419 (2000).
130-III. Marshall, E., Science **287**, 1419-1421 (2000).
130-IV. Barinage, M., Science **287**, 1421-1422 (2000).
130-V. Perry, D., Science **287**, 1423 (2000).
130-VII. Lenoir, N., Science **287**, 1425-1427 (2000).
130-VIII. Watt, F. M. et al., Science **287**, 1427-1430 (2000).
130-IX. Slack, J. M. W., Science **287**, 1431-1433 (2000).
130-X. Gage, F. H., Science **287**, 1433-1438 (2000).
130-VI. Young, F. E., Science **287**, 1424 (2000).
130-XI. van der Kooy, D. and Weiss, S., Science **287**, 1439-1441 (2000).
130-XII. Weissman I. L., Science **287**, 1442-1446 (2000).

1.6.9.الاستنساخ

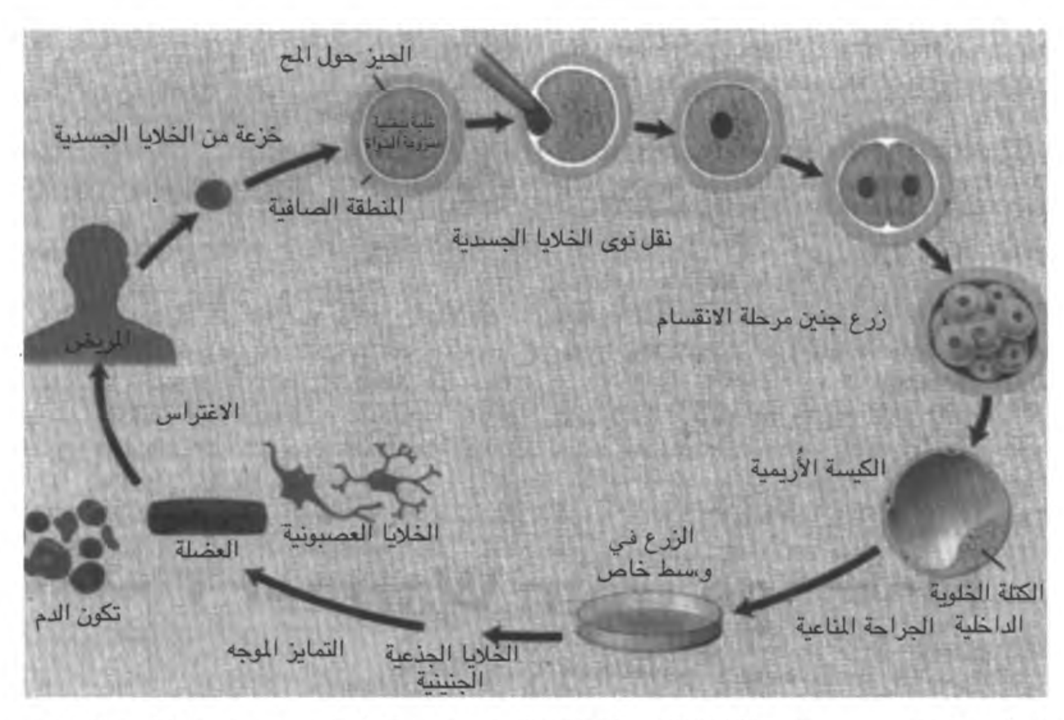
كما يعلم الناس عامة، فإن موضوع الاستنساخ أصبح «نجماً» لامعاً من نجوم العلم، ومعلومة متألقة من معارف عامة الناس في 27 شباط (فبراير) عام 1997، عندما نشرت مجلة علمية مرموقة جداً هي «نيتشر» Nature تقريراً علمياً يتضمن ولادة النعجة «دولّي». ولقد تمت معالجة الموضوع بكتاب موسوم بالعنوان «**الاستنساخ : جدل العلم والدين والأخلاق**»، دار الفكر، دمشق (1997)، الذي ورد ذكره غير مرة. وعلى الرغم من الآمال الخيالية التي عُقدت على ظاهرة الاستنساخ، ومع أنه تم استنساخ قردة وفئران ونعاج وأبقار وخنازير وطيور . . . ، كما أُجري الاستنساخ بنقل النواة (وليس كامل الخلية كما حدث في حالة النعجة «دولّي») في ثدييات مختلفة (من الفئران إلى القردة)، فإن التقدم العلمي في نطاق الاستنساخ قد بدد تلك الآمال. ومع أن «آيان ويلمُت» كبير باحثي الفريق الذي استنسخ«دولّي» يجتهد في البحث عن تطبيقات طبية للاستنساخ[131] (الشكلان 29.9 و 30.9) بالدعوة إلى السماح باستعمال الأجنة البشرية الفتية (لأن هذه الأجنة لا تمتلك في الأسبوع الثاني من العمر وظيفة الحس[132])، فإن ظاهرة الاستنساخ (التي شغلت الوسطين العلمي والإعلامي قرابة عام كامل)، تكاد تصبح إحدى مفارقات أبحاث التقانة الحيوية المعاصرة، لتستقر شبه منسية في إحدى زوايا تاريخ العلوم المعاصر. [وقد يكون من المفيد في هذا الصدد الإشارة إلى المقالة الموسومة بالعنوان«**الاستنساخ والمعالجة الجينية**»، تأليف «S. ميرسكي» و«J. ريني»، «مجلة العلوم» (الكويت) **14**، **4** إبريل (نيسان) 70 ـ 71 (1998)، التي وردت في الجدول 3.9 والتي اقتبسنا منها الشكل18.9-ب، ص. 381]. وتجدر الإشارة إلى أن نقل النواة في سيرورة الاستنساخ، يمثل برهاناً بيولوجياً مباشراً على «توالد» ماكنة «تورينغ» Turing، وعلى «تنسخ» الطراز الأم لحاسوب «فون نومان»von Neumann (يُرجع إلى الفقرة 4.8)، مع تأكيد الفروق بين سيرورات الحياة وسيرورات الجماد.



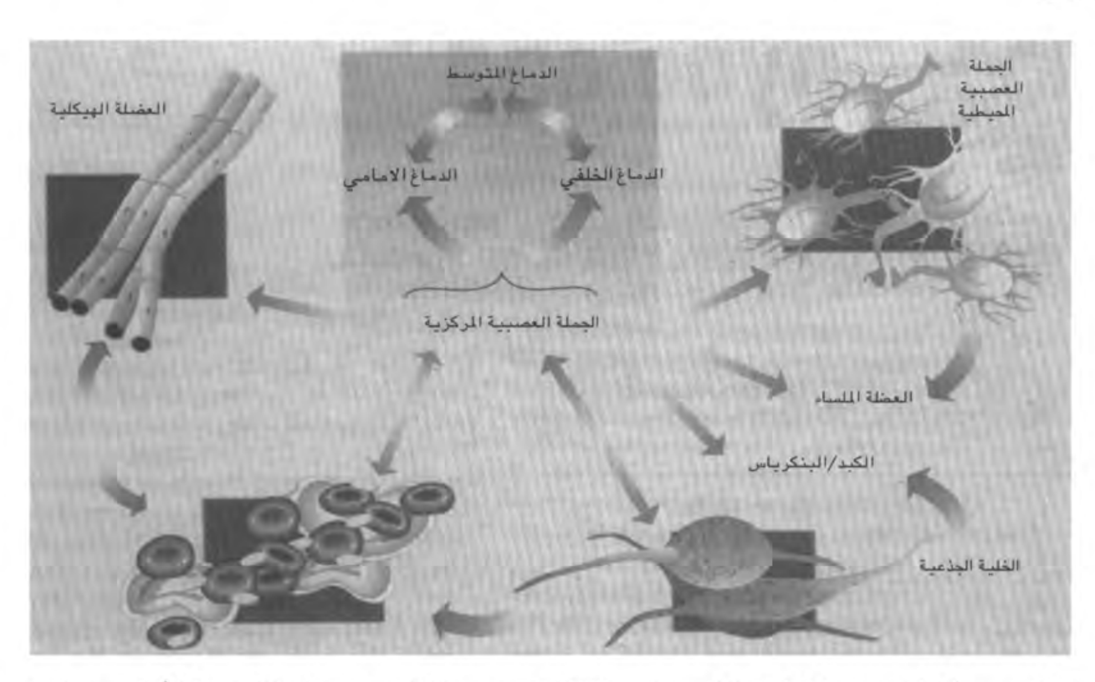
الشكل 29.9. مخطط ترسيمي يوضح كيف يمكن « استعمال » تقانة الاستنساخ بالنقل النووي مسبوقاً بالهندسة الجينية لإنتاج مواد صيدلانية (سواء في الحليب أو البول) ذات أهمية دوائية (عن المرجع III-133 ، ص. 1780 Mclaren,2000) .

ولقد أتت النكسة التي أصابت ظاهرة الاستنساخ (والتي جعلت من النعجة «دولّي» أكثر سطوعاً من أشد «النجوم» البشرية شهرة) من«دولّي» نفسها. فلقد اتضح في العام (1999)، وبعد أن أصبح عمر«دولّي» «النظري» عامين، أن عمرها الفعلي أكثر من عامين (سبعة أعوام تقريباً، أي عمر النعجة «الأم» التي أُخذت منها خلية الضرع التي احتوت صبغيات النعجة الشهيرة، أي الجينات التي وجهت تشكل دولّي). فصحيح أن حادثات التنامي (تشكل الجنين) تبدأ في الاستنساخ من مرحلة تساوي زمنياً مرحلة الإخصاب السوي (لأن المراحل الأولى من التنامي الجنيني مبرمجة كلياً في السيتوبلازما، وتقع تحت سيادتها)، فإن الأمر سيختلف بعد الانقسامات الأولى، وذلك عندما تبدأ فاعلية الجينات

131. Wilmut, I, Scientific American, **December** (1998) , 30-35.
132. Editorial, La Recherche **318**, 5 (1999).



الشكل30.9 -أ. مخطط ترسيمي، يوضح الإمكان الكلي للخلايا الجذعية بتمايزها إلى أنماط نسيجية مختلفة (الكبد والبنكرياس والخلايا العضلية الملس والخلايا العصبية المحيطية والجملة العصبية المركزية والعضلات الهيكلية والخلايا الدموية) (عن المرجع الوارد في الشكل 9 . 25-جـ).



الشكل 9 . 30-ب. مخطط ترسيمي لمراحل تقنية تحضير النسج للاغتراس، مسبوقة باستنساخ نواة خلية جسدية (أخذت من الشخص الذي يخضع للمعالجة) في خلية بيضية منزوعة النواة ، وبتكثير خلايا الكتلة الخلوية الداخلية - الخلايا الجذعية الجنينية -، وبتوجيه تمايز هذه الخلايا، حيث يتم الاغتراس. ويمكن (في حالة معالجة داء باركنسون) توجيه الخلايا الجذعية الجنينية لتتمايز إلى عصبونات دوبامينية الفعل ، تغترس في منطقة « المادة السوداء » للفرد المصاب بهذا الداء (يرجع إلى الشكل 9 . 28) ، أو لاغتراسها في جزر لانغرهانس في بنكرياس فرد مصاب بداء السكري ، أو في الكبد لمعالجة التليف الكبدي . . . (عنSolter and Gearhart, 1999 ، المرجع 130 ، ص. 1469) .

بالظهور. فكما كنا عرضنا في الفقرة 9.4.1 (يُرجع أيضاً إلى الشكلين 39.8 إلى 40.8)، فإن نهايتي الصبغي الواحد تنتهي بتسلسلات ذات تكرارية عالية من DNA، ADN، تغلق النهاية الخاصة بكل صبغي، كي لا تبقى خيوط هذا الحمض حرة، وتكون النهاية عندئذ مشرشرة، لزجة، تجعل نهايات الصبغيات يتلاصق بعضها ببعض، فتشكل عندئذ ما يشبه الشبكة، وتفقد الصبغيات هويتها الفردية، الأمر الذي يؤدي إلى موت الخلية. وبسبب ماعانته «دولي» من اضطرابات مرضية، فلقد تم تيسير موتها بطريقة تيسير الموت euthanasie, euthanasia في شهر شباط (فبراير) من هذا العام (2003) [انظر Scientifie American, **April** (2003) p.14].

وتفقد الصبغيات في أثناء كل انقسام خلوي جزءاً من التسلسلات التكرارية لنهاياتها، ويتم في الوقت نفسه تركيب كمية محددة من أنزيم التيلوميراز، الذي يقوم بتركيب كمية من DNA، ADN أقل من الكمية التي فُقدت، ولكنها تكفي لتشكيل القسيم الانتهائي (التيلومير) لنهايتي كل صبغي. ويتكرر الأمر نفسه في كل انقسام خلوي. أي إن الصبغي الواحد يتقاصر قليلاً مع كل انقسام. ولكن عندما يقترب هذا التقاصر من أحد الجينات الأساسية لحياة الخلية، فإن الانقسام يتوقف، ويتوقف معه التقاصر، وتشرع الخلية عندئذ في التمايز، لتكون نمطاً خلوياً ذا وظيفة محددة (أي أنها تفقد هويتها الجنينية اللاوظيفية وذات الأجل اللامحدود، وتتحول إلى خلية وظيفية حدد أجلها تحديداً صارماً). فالقسيمات الانتهائية (التيلوميرات) والتيلوميراز هما الساعة البيولوجية الأكثر دقة في حياة الكائن الحي، وفي تحديد أجله تحديداً صارماً، ذلك أن هذه الساعة تقيس أعمار خلايانا يوماً فيوماً. ولهذا، فعندما نُقلت صبغيات خلية الضرع (تم في الواقع نقل خلية الضرع بكاملها) من نعجة عمرها خمسة أعوام مثلاً إلى بيضة منزوعة النواة، فإن عمر الصبغيات كان بعمر النعجة التي أتت منها هذه الصبغيات، ومن ثم كان عمر «دولّي»، بعد انقضاء عامين على ولادتها، هو سبعة أعوام، لذلك هرمت وهي لا تزال يافعة. وتجدر الإشارة إلى أن أحد الأثرياء الأمريكيين خصص مبلغ 2.3 مليون دولار لأحد المعاهد العلمية، كي يستنسخ كلبته «ميسي» Missy[133-I]. ومع أن الاستنساخ نجح في ثدييات معينة، إلاّ أنه أخفق في ثدييات أخرى، والرئيسات العليا (الشمبانزي مثلاً)[133-II-133-III] خاصة. ومهما يكن من أمر، فإن تجارب الاستنساخ تعاني كلها من عيب أساسي، يتمثل بكثرة التجارب التي يجب أن تجرى حتى تنجح تجربة واحدة[133-IV]. وتجدر الإشارة إلى أن المستنسخات (الأفراد المستنسخة من فرد واحد بعينه)، تتغاير من الناحيتين السلوكية والجسدية، خلافاً لما اعتقد حتى الآن بتشابهها التام من حيث الخصائص كافة (الجسدية والنفسية والفكرية) [Ezzell, C.,Seientific American, **April** (2003) p.14].

لقد كانت هذه مفاجأة مذهلة لمن كان ينظر إلى ظواهر الأمور. ولكنها كانت متوقعة لمن يدرك كيف أن التجربة الواحد ستختلف حقاً من فرد لآخر، ومن مرة لأخرى وإنها ليست ماكنة «تورينغ»، أو برامج «فون نومان». ونرى شخصياً أن استنساخ البشر سيكون -كما اتضح غير مرة- أمراً مستحيلاً. ذلك أن بيضة المرأة لاتحوي من RNA ,.ARN والبروتينات مايكفي لدعم سيرورات تنام سوية حتى تتم اعادة برمجة الجينات برمجة صحيحة، وحتى تبدأ هذه الجينات (التي كانت في خلية وصلت مرحلة معينة من العمر ومن التخصص في ما يتعلق ببيئتها المكروية) بالعمل كجينات بيضة سوية مخصبة اخصاباً نظامياً. أضف إلى ذلك ظاهرة وراثة مافوق الوراثة.

ولكن، وعلى الرغم من أفول نجم ظاهرة الاستنساخ، وصدور تشريعات صارمة في معظم الدول، تحرم الاستنساخ البشري، حيث أخفقت جميع المحاولات التي بذلت حتى نيسان (إبريل) 2003 لاستنساخ جنين بشري، يصل حتى مرحلة عشر خلايا فقط (من أصل مئة ألف مليار خلية)، لقد أخفقت هذه المحاولات غير المشروعة إخفاقاً ذريعاً، على الرغم من أنها كلفت ملايين الدولارات [انظر: **«الاستنساخ البشري والعلم السيئ»**، «مجلة العلوم»

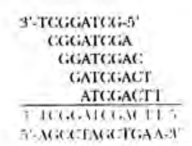
133. Mirsky, S. and Rennie, J., Scientific American , **June** (1997) , 102-103.

133-I. Pennisi, E. and Vogel, G., Science **288**, 1722-1727 (2000).

133-II. Gurdon, J. B. and Colman, A., Nature **402**, 743-746 (2000).

133-III. MeLaren, A., Science **288**, 1775-1780 (2000).

133-IV. Brenier, Ph., La Recherche **334**, 28-40 (2000).



(تونس)، للمؤلف، حزيران (يونيه)، 2003، قيد الطباعة]. ونعتقد الأسباب علمية بحتة، إن الاستنساخ البشري لن ينجح أبداً مهما تقدمت التقانة الحيوية. على الرغم من هذا، فإن قبس شهوة الربح السريع لم يخب من نفوس البعض. هذا، وسنعود إلى معالجة المضامين الأخلاقية لهذا الموضوع، والموضوعات البيولوجية المعاصرة، في الفقرة 9.7 من هذا الفصل.

9.6.2. هندسة النسج

يروي «دان فيربر» Dan Ferber أن فكرة حلّ معضلة ثخن طبقة الخلايا في محاولات تشكيل نسج وأعضاء حية في المختبر، قد ومضت في ذهن الجرّاح «جوزيف فاكنتي» Joseph Vacanti من كلية طب جامعة هارفرد ببوسطن في الولايات المتحدة. لقد باءات باستمرار محاولات «فاكنتي» وآخرين غيره في تنمية الخلايا في المختبر لتشكيل نسج وأعضاء حية، يتزايد الطلب عليها باستمرار كقطع بديلة عن نسج وأعضاء بشرية تالفة. فما إن يصل ثخن الطبقة الخلوية المتنامية حداً معيناً حتى تبدأ الخلايا العميقة بالتموت نتيجة انقطاع وصول الغُذَيَّات (بما في ذلك الأكسجين) إليها بالانتشار الفيزيائي (فرق التركيز) بسبب زيادة ثخن الطبقة الخلوية المتنامية. ولكن في عصر أحد أيام الصيف الشفيفة من عام 1986 كان «فاكنتي» يجلس على إحدى صخور مصدات ماء الأطلسي في بلدة كيب كود بولاية ماساتشوستس، يراقب حيناً أولاده الأربعة يلعبون على الشاطئ، ويحدق في الماء أحياناً أخرى. وفجأة لاحظ كيف أن الأعشاب البحرية تنمو على شكل شبكة تتوسع في الاتجاهات كافة، تتموج فروعها بخيلاء، تمتص بيسر وسهولة الغُذَيَّات من الماء. لقد أدرك «فاكنتي» في الحال، وكأن «وحياً» هبط عليه: أن التفرع هو الطريقة التي تستعملها الطبيعة لزيادة مساحة السطوح زيادة عظمى، كي تصل الغُذَيَّات إلى الطبقات النسيجية الثخينة للأعضاء، التي كان يحاول تشكيلها في المختبر [والغريب في الأمر أن بنى بيولوجية عديدة ـ وفي مقدمتها صبغيات الخلية التي ينتشر كروماتينها ويتفرع خارج طور الانقسام، ليحقق أوسع سطح ممكن، وكذلك الخلية البيضية والخلايا الجريِّبية المحيطة بها في المبيض، تشكل الزغابات الصِغرية، فتزداد المساحة الكلية للسطوح ملايين ملايين المرات لزيادة المقدرة على نقل الغُذَيَّات (وطرح ثاني أكسيد الكربون) من الدم إلى الزغابات الصِغرية للخلايا الجُرَيِّبية، التي تتداخل متشابكة مع الزغابات الصغرية للخلية البيضية. وكذلك هي الحال في ما يتعلق بزغابات مشيمة جنين الإنسان التي تنقل سطوحها هائلة الاتساع الغُذَيَّات من دم الأم مباشرة إلى جسم الجنين عبر الأوعية الدموية السُرية، نقول إذاً إن الغريب في الأمر هو أن هذا الباحث لم يعلم أن بنى بيولوجية عديدة جداً (أوجدها التطور الموجه ذو المعنى) تعمد إلى التفرع والانتشار لزيادة سطوح التبادل حتى الحد الأعظمي، وإن هذه الظاهرة شائعة الانتشار في الطبيعة، وتستعملها الأحياء كافة].

ويُعمد حالياً في هندسة النسج إلى بناء سِقالات scaffolds، échafauds (الشكل 9.31) من مكوثر



الشكل 9.31 ـ أ. صورة مجهرية لخلايا عضلية ملس تنمو على سقالات مكوثر (بوليمير) مَسَمِّي قابل للتدرك حيوياً، يُستعمل في هندسة الأعضاء. إن هذه السقالات، التي هي مكوثرات (بوليميرات) لمادة تستطيع الخلايا هضمها أنزيمياً، تستعمل كأساس في الهندسة النسيجية للأعضاء. ويأمل الباحثون بالتوصّل إلى مواد تعمل كسقالات ليست فقط قابلة للتدرك حيوياً، إنما تستطيع إعطاء العضو المُهندَّس شكلَه التشريحي السوي، وخصائصه الفيزيائية (عن Ferber,1999، المرجع 128، ص. 425).



الشكل 9 . 31 - ب . مخطط ترسيمي لشريان مُهندس نسيجياً . يتألف الشريان السوي من ثلاث طبقات : الطبقة البطانية الداخلية ، والطبقة المتوسطة ، والطبقة الخارجية . وتتكون الطبقة البطانية الداخلية من خلايا متلاقية ، ثخنها خلية واحدة ، تمنع الخُثار ، وتنظم توتر الخلايا العضلية الملس الوعائية . أما الطبقة المتوسطة ، فتتألف من طبقات صِغرية متناوبة لخلايا عضلية ملس ، ومن الأمهة matrice ، matrix خارج الخلايا ، التي تحيط بالعضلات الملس ، وتمنح الشريان خصائصه الميكانيكية . وتتألف الطبقة الخارجية من نسيج ضام رخو ، عماده خلايا الأرومة الليفية وبروتينات استنادية ، وتتوضع في هذه الطبقة الأوعية الدموية الصِغرية التي تروي نسج الشريان ، وكذلك الألياف العصبية الودية التي تعصِّب الوعاء الدموي [عن Niklason,L.E.,Science **286.** 1493-1494 (1999) ، ص . 1493] .

(polymère ، polymer ، بوليمير) ، تأخذ شكل العضو تماماً . وتتصف مادة المكوثر التي تشكل السقالات بانها قابلة للتدرك البيولوجي (أي إن الخلايا تُفكك ، بوساطة أنزيماتها ، مادة المكوثر ، وترتشفها في نهاية الأمر كلياً) . وفي إثر بناء العضو على شكل سِقالات ، تبذر على هذه السِقالات (يُرجع إلى الشكل 9 . 31 ، يُرجع أيضاً إلى الشكلين 9 . 25 و 9 . 26) الخلايا الجذعية الجنينية (التي عرضنا لها في الفقرة السابقة) ، التي تم توجيه تمايزها في اتجاهات معينة ، كي تُعطي بنى العضو المعني . وما إن يتم تشكل العضو ، حتى تقوم خلاياه بتقويض مادة السقالات ، ومن ثم ارتشافها . وعلى هذا الأساس ، تم تشكيل أعضاء ، تتراوح بين المثانة والمعي والوعاء الدموي [125-129] ومع أنه تم فعلياً إنتاج قطع من الجلد البشري [134] ، فما تزال هناك صعوبات كثيرة ، تعترض تصنيع الأعضاء الأخرى . ولقد أمكن مؤخراً تحضير خلايا جذعية جنينية ، تم توجيه تمايزها إلى خلايا النخاع الشوكي ، حيث استطاعت هذه الخلايا أن تحلّ محلّ خلايا ، أُتلفت صنعياً في هذا النخاع لفئران ، أضحت مشلولة الأطراف (والخلفية منها خاصة) نتيجة إتلاف مناطق معينة من نخاعها الشوكي . ولقد شُفيت الفئران المعالجة من الشلل بسبب ترميم المنطقة (التي تم إتلافها) ترميماً صحيحاً من الناحيتين البنيوية والوظيفية [135] وذلك من قبل الخلايا الجذعية الجنينية .

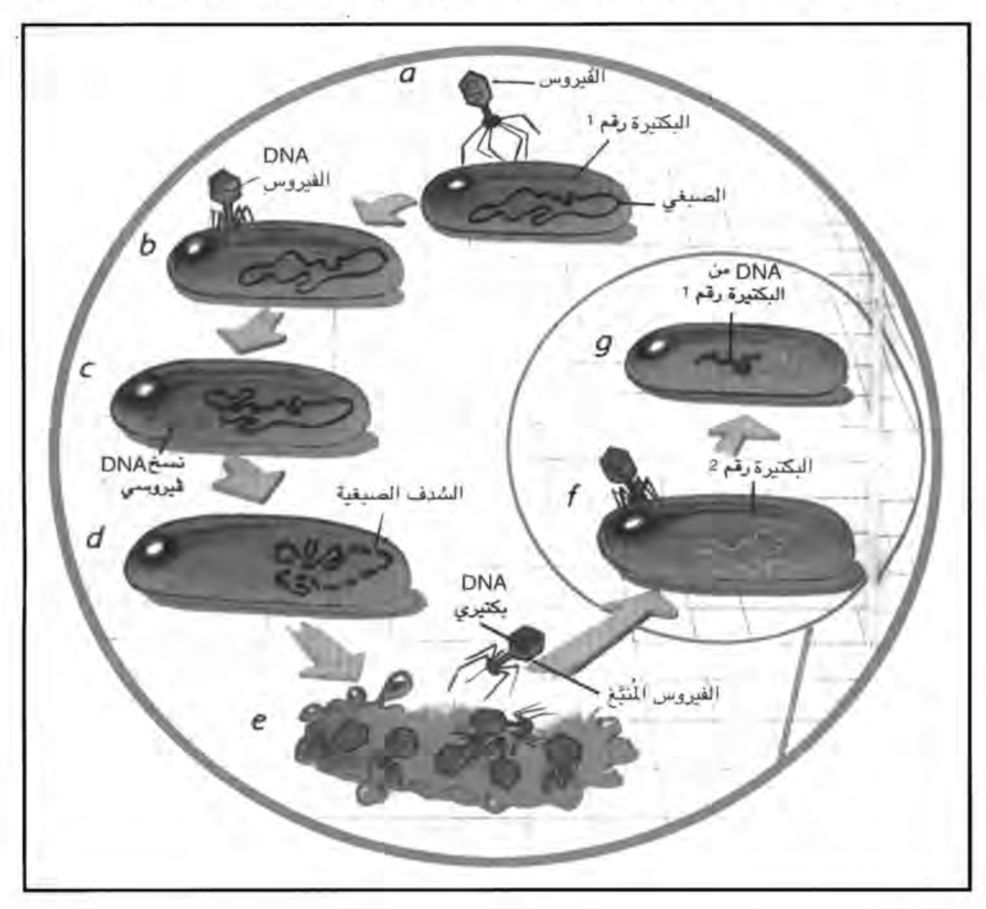
9 . 7 . الأحياء المحورة جينياً والعلم «السيء» ، هندسة الأحياء : حلم أم كابوس ؟

كلنا يعلم بأنه يوجد في الطبيعة نمطان من التوالد : التوالد اللاجنسي ، وهو شائع في بدائيات النوى (وبخاصة البكتيريا ـ الجراثيم) ، وقلة من حقيقيات النوى (انظر الكتاب الموسوم بالعنوان : «**الاستنساخ ، جدل العلم والدين والأخلاق** ، دار الفكر ، دمشق ، 1997) . أمَّا النمط الثاني فهو التوالد الجنسي ، ويوجد في الكائنات الحية كافة ، بما في ذلك البكتيريا والفيروسات . وخلافاً لما يحدث في التوالد اللاجنسي (حيث لا يطرأ أي تبدل على الذخيرة الوراثية ـ الجينوم ـ ، وتأتي الأفراد متماثلة) ، فإن الجينوم يتغير (يتجدد) باستمرار في التوالد الجنسي عن طريق إنجبال جينات غريبة وجديدة ، تأتي من الوسط في بدائيات النوى [136] (بوساطة ثلاث فعاليات ، هي : التنبيغ والاقتران والاستحالة

134. Langer, R. and Vacanti, J. P., Scintific American, **April** (1999) , 63-65.
135. McDonald, J.W. et al., Nature Medicine 5, 1410 - 1413 (1999).
136. Miller, R.V.,Scientific American, **January** (1998) , 46 - 51.

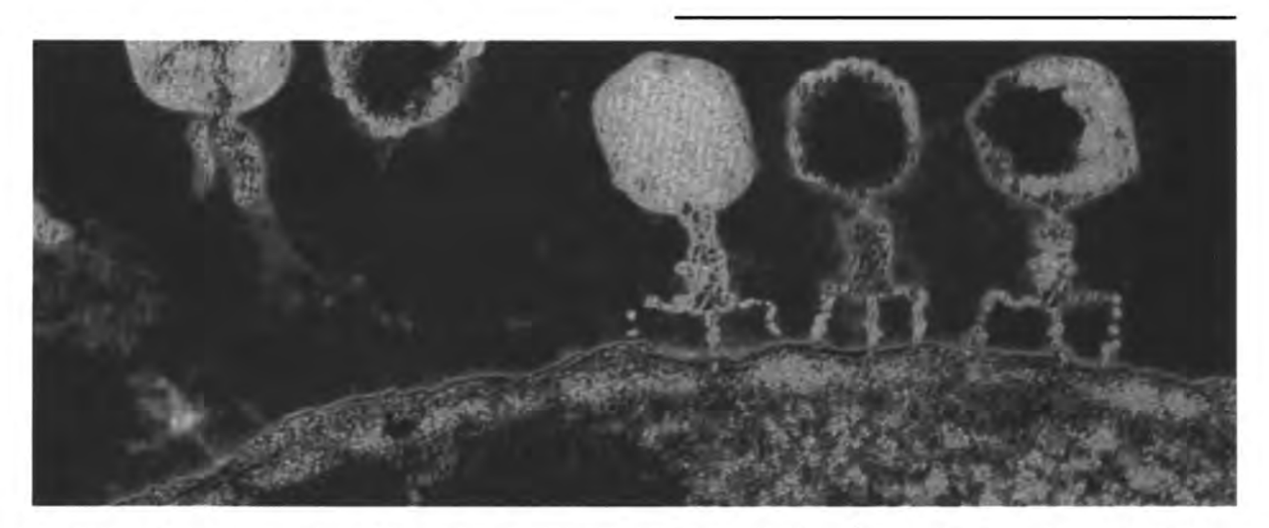
أو التحول[(4.9)]، وعن طريق الانقسام الانتصافي والإخصاب العشوائي في حقيقيات النوى. إن هذه السيرورات الخمس (التنبيغ والاقتران والاستحالة في بدائيات النوى وربما في بعض حقيقيات النوى وحيدات الخلايا، والانقسام الانتصافي

(4.9) تتوالد البكتيريا (بدائيات النوى) توالداً جنسياً بثلاث طرائق، هي **التنبيغ** * transduction، **والاقتران** conjugation ، conjugaison، **والاستحالة** transformation (التحول). ويتم في حالة التنبيغ انتقال جين أو أكثر من بكتيرة إلى أخرى بوساطة أحد الفيروسات الذي يستولي على جينوم بكتيرة معينة. ويحدث (في أثناء هذا الاستيلاء) أن الفيروس، يُدخل ضمن جينومه جيناً أو أكثر من جينات البكتيرة. وعندما يُعدي (يخمج) هذا الفيروس بكتيرة أخرى، فإنه ينقل إليها قطعة DNA، ADN التي حصل عليها من البكتيرة الأولى (الشكلان 9.32 و 9.33). ←



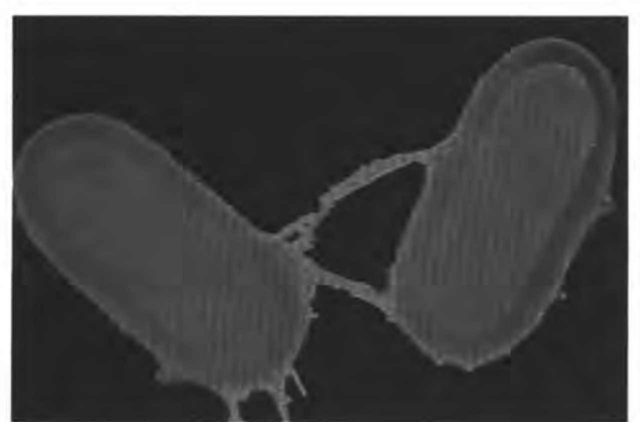
الشكل 9.32. مخطط ترسيمي مكبر لسطح من صخوة مغمورة بالماء ومغطاة بطبقة موحلة حيث يحدث التنبيغ. وتمثل الدائرتان المتداخلتان مخططاً ترسيمياً لمراحل التنبيغ، حيث ينقل فيروس استولى على جينوم إحدى البكتيريات (الجراثيم) جيناً أو أكثر من جينات البكتيرة إلى بكتيرة أخرى. وتجدر الإشارة إلى أن التنبيغ قد يحدث في أي مكان يحوي فيروسات وبكتيريا، وليس على الصخور المغمورة فقط (عن Miller,1998، المرجع 136، ص. 23 من الترجمة العربية). لقد ترجمت هذه المقالة إلى العربية، ونشرت في «مجلة العلوم» (الكويت) المجلد **14**، العددان **9** و **8**، أغسطس/ سبتمبر (آب / أيلول)، الصفحات 22 ـ 27 (1998). ولقد اقتبسنا هذا الشكل والأشكال 9.33 حتى 9.36 من هذه الترجمة. وتجدر الإشارة إلى أن معظم مادة الإضبارة أو الملف dossier (المقالة المُطوَّلة والمركبة) الواردة في المرجع (133-IV) قد اقتُبس من المرجع 133-I الوارد أعلاه.

* التنبيغ : transduction. **1**. نقل المادة الوراثية (الجينية) من عاثية bacteriophage (فيروس يلتهم البكتيرة ليتكاثر داخلها) إلى بكتيرة، أو من بكتيرة إلى أخرى باستعمال العاثية كناقل (كحامل). **2**. تحول الطاقة الفيزيائية الناجمة عن تفاعل ربيطة بمستقبل، يوجد في الغشاء البلزمي للخلية، أو عن زوال استقطاب الغشاء، إلى تفاعل ينشط سبيلاً إشارياً ذا جزيئات متسلسلة الترابط الوظيفي، أو إلى توليد دفعة عصبونية.

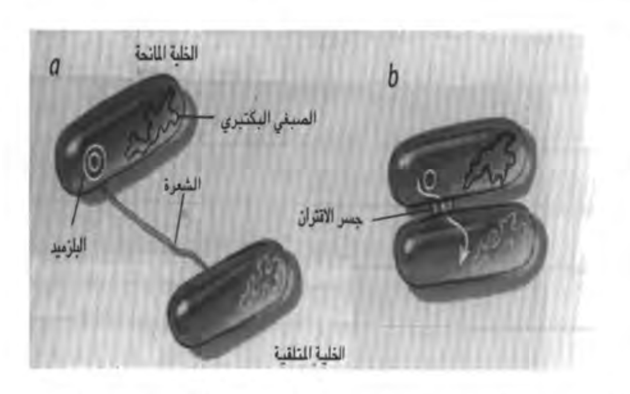


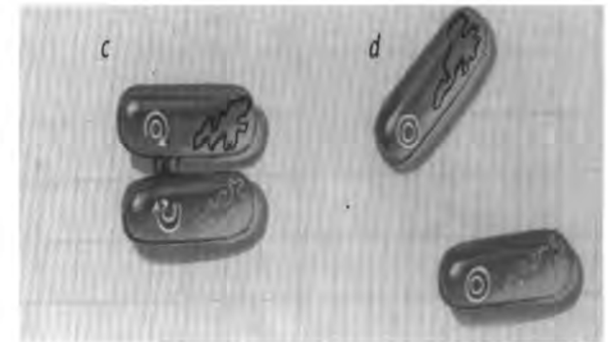
الشكل 9 . 33. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لثلاثة فيروسـات تثبت نفسها على سطح بكتيرة ، حيث يمكن أن يحدث التنبيغ (عن المرجع الوارد في الشكل السابق (9 - 32) ، ص . 22 .

←أمّا في **الاقتران**، فإن البكتيرة الواحدة تستطيع أن تتبادل بعض بلزميداتها مع بكتيرة أخرى بوساطة تكون أشعار جنسية pili (مفردها شعرة pilus) بين البكتيريتين (الشكلان 9 . 34 و 9 . 35. يُرجع أيضاً إلى الصفحات 30-41 من كتاب : «**الاستنساخ : جدل العلم والدين والأخلاق**، دار الفكر، دمشق، 1997) . ←

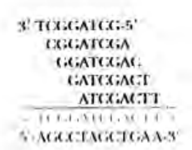


الشكل 9 . 34. صورة بالمجهر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لبكتيرتين في مرحلة الاقتران ، حيث تمنح إحداهما بلزميداً من بلزميداتها إلى البكتيرة الأخرى وذلك بعد تضاعف البلزميد الممنوح ، وقد يحدث الأمر نفسه في ما يتعلق بالبكتيرة الأخرى طالما تم تشكل شعرتين جنسيتين (عن المرجع الوارد في الشكل 32.9 ، ص . 25) . قارن هذا الشكل بالشكل 8 . 4.





الشكل 9 . 35. مخطط ترسيمي لمراحل الاقتران ، حيث تمنح بكتيرة عبر شعرة جنسية أحد بلزميداتها في إثر تضاعف هذا البلزميد (عن المرجع الوارد في الشكل 9 . 32 ، ص . 25) .

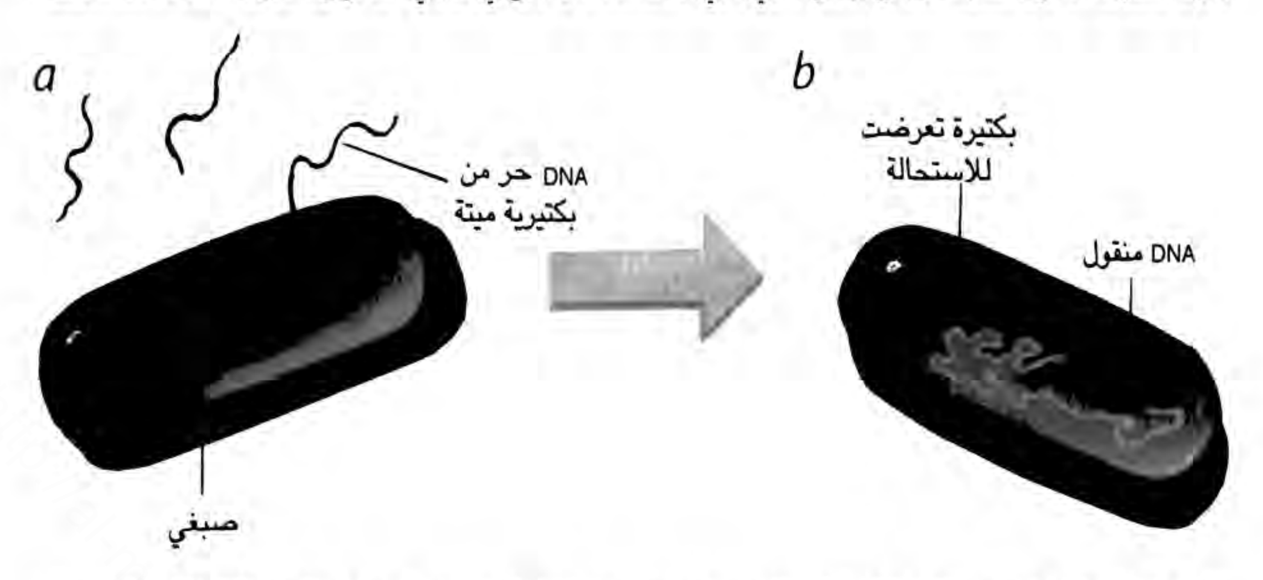


والإخصاب العشوائي في حقيقيات النوى عامة) هي المسؤولة في التوالد الجنسي عن اختلاف الخصائص الجينية بين الإخوة أو الأخوات من أبوين محددين، وقد تكون مسؤولة ـ ولو جزئياً ـ عن التنوع الحيوي.

وسواء في التوالد اللاجنسي أو في التوالد الجنسي، فإن انتقال الجينات يتم عموماً ضمن النوع الواحد، ويكون انتقالاً عمودياً vertical transmission، transmission verticale، أي أن هنالك حواجز جزيئية طبيعية صارمة، لا تسمح في حقيقيات النوى (باستثناء حالات نادرة جداً، وأحياناً غير مؤكدة تأكيداً قاطعاً، يزعم أنها تمت بين بعض الأنواع النباتية بسبب إخصاب لا نوعي وغير طبيعي)، لا تسمح إذاً بانتقال جينات نوع ما إلى نوع آخر. وإن حدث هذا الانتقال فعلاً في النباتات، فيكون قد تم بين أنواع متقاربة ضمن الجنس نفسه، وليس خارج الفصيلة الواحدة، كما أن هذا الانتقال لا يحدث قطعاً في الحيوانات.

ويمكن تعريف الكائنات المحورة جينياً(GMO)genetically modified organisms, (OGM)organismes génétiquement modifiés بأنها الكائنات التي جُبل في مادتها الجينية (في جينومها) جين واحد أو أكثر، أتى من كائن حي بعيد عنها من حيث القرابة التصنيفية والتطورية. كأن ننقل إلى نبات الذرة جين البكتيرة *Bacillus thuringiensis*؛ الجين المسؤول عن إنتاج الذيفان Bt القاتل ليساريع (أساريع، جمع يُسروع و أُسروع) الفراشة النارية من فصيلة الفراشات النارية *Pyralididae* (الشكل 9 . 37). فجينوم نبات الذرة، يبعد تطورياً أكثر من مليار عام عن الجين المسؤول عن إنتاج الذيفان Bt. أو أن نعمد إلى نقل الجين المسؤول عن إنتاج الأنسولين البشري من خلايا بنكرياس الإنسان إلى بكتيرة الإشريكية القولونية *Echerichia coli* (الشكل 9 . 38 يُرجع أيضاً إلى الشكل 8 . 1ـ ب)،

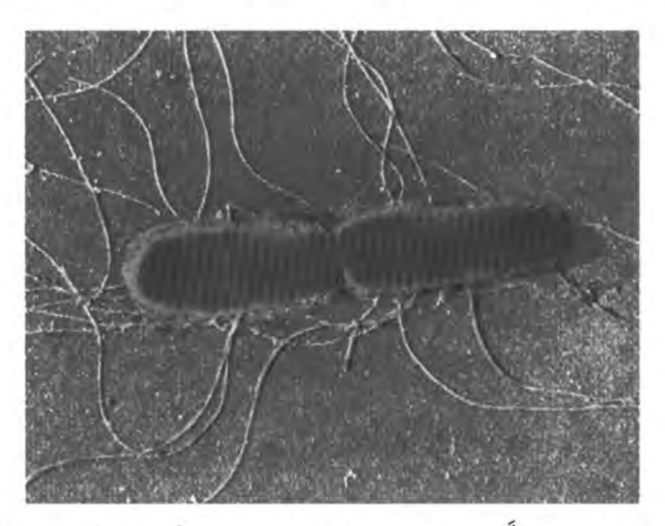
← ويتم في سيرورة **الاستحالة** (التحول) التقاط البكتيرة قطعة منDNA، ADN توجد في وسطها (كانت هذه القطعة قد تحررت نتيجة موت بكتيرة من نمط آخر). وكما يوضح الشكل 9 . 36، فإن أنزيم تقويضDNA، ADN (الدُيوكسي ريبونكلياز)، يدرك إحدى شريطتي DNA، ADN، وتُترك الشريطة الأخرى سليمة، ويمكن للبكتيرة، التي تعاني الاستحالة، أن تجبل في الصبغي الخاص بها شريطة DNA، ADN الملتقطة.



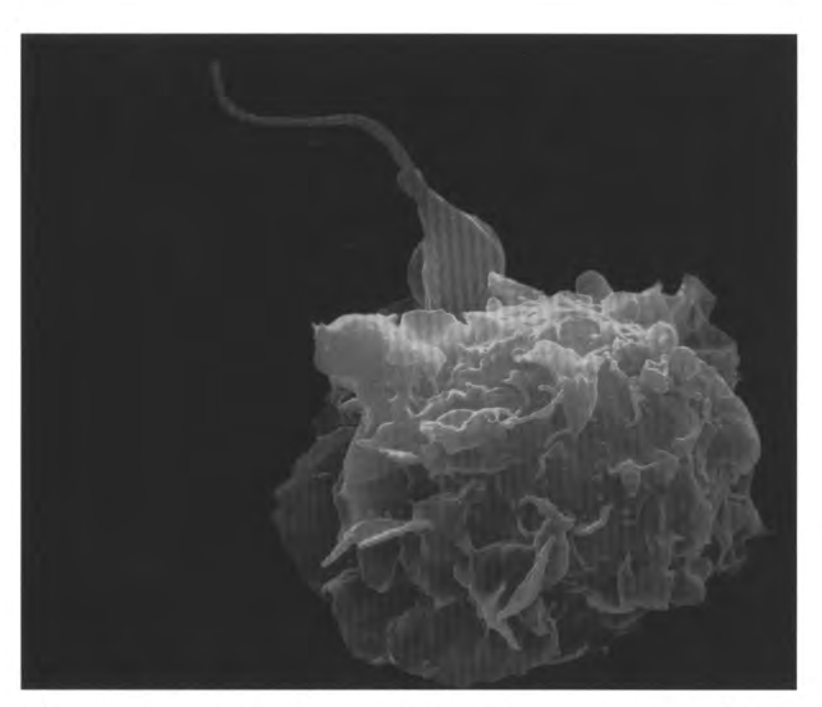
الشكل 9 . 36. مخطط ترسيمي لظاهرة الاستحالة ممثلة في مرحلتين، حيث تلتقط بكتيرة ما من الوسط شدفة منDNA، ADN بكتيرة ميتة. وتحدث هذه الظاهرة على نحو واسع في المزارع البكتيرية. ويحدث أيضاً أن تقوم أنزيمات التقييد (الجهاز الدفاعي للبكتيرة ـ الجرثوم) بتقطيع (حلمهة) شدفة منDNA، ADN إلى شدف أصغر (عن المرجع الوارد في الشكل 9 . 32، ص. 25).



الشكل 9 . 37. صورة ليسروع الفراشة النارية (فصيلة الفراشات النارية *Pyralididae*)، يقتات نبات الذرة ، ويقرض فيه سلسلة من الإنفاق، فيجف الساق ، وينقصف بسهولة ، وتسقط حبات الذرة على الأرض . ويقضي هذا الطفيلي على نسبة من محصول الذرة في فرنسا مثلاً تتراوح ما بين 5 و 30 في المئة وذلك وفقاً للمنطقة وللعام [عن Casse, F., La Recherche **327**, 35-39 (2000) , p.36] .



الشكل 9 . 38-أ. صورة بالمجهـر الإلكتروني التفرّسي (الماسح) لبكتيرة (جرثوم) السَّلمونيلة التيفية بحالة الانقسام (الانشطار) . سيتم استعمال هذه البكتيرة ، بعد تعطيل تكاثرها وتحميلها بعدد من جينات فيروس عوز المناعة البشري (HIV) ، كلَقاح واعد ضد متلازمة عوز المناعة المكتسب (الإيدز ، السيدا) [عن Smaglik, P., Nature **405**. 386 (2000)] .



الشكل 9 . 38.ب . صور بالمجهر الطبقي المحرقي confocal لبلعمية كبيرة، تبتلع طفيلي الليشمانية . انظر من أجل المرجع الشكل التالي (9 . 38. -جـ) .

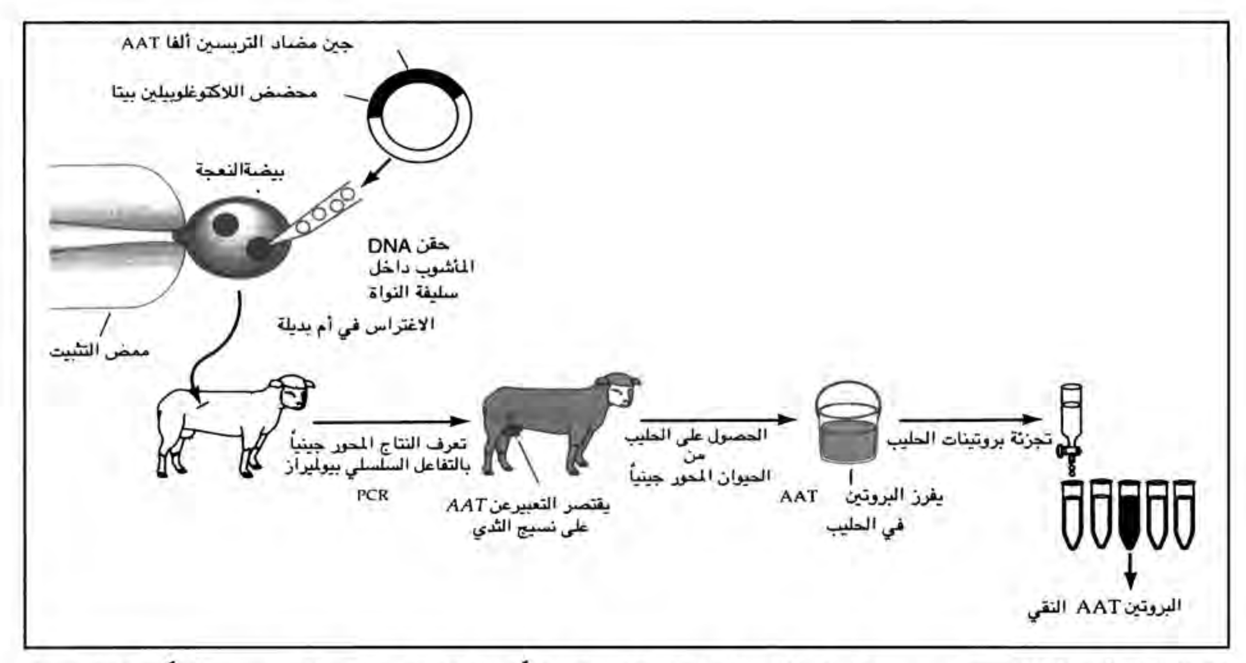


الشكل 38.9-جـ، صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للإشريكية القولونية . قارن هذا الشكل بالشكلين 8 . 1-ب، و8 . 4.
[الشكلان (ب) و(جـ) عن Pennisi E., La Rechecherche **340** 43-45 (2001)] .

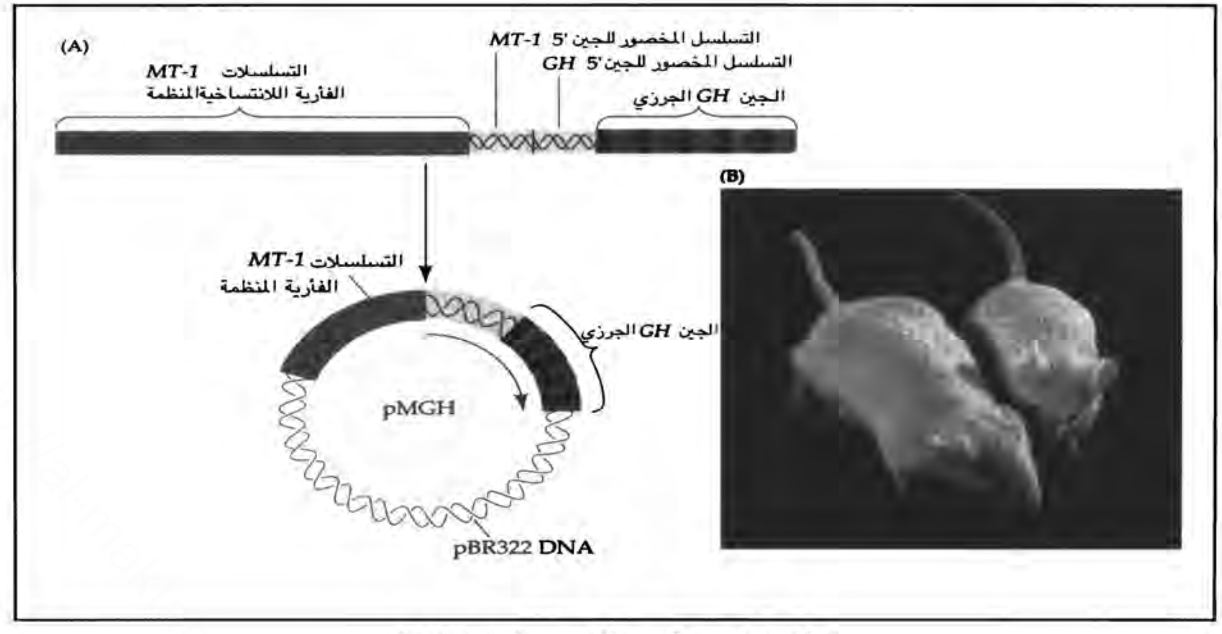
كي تنتج لنا هذه البكتيرة الأنسولين البشري. ومع أننا لا نعرف بالضبط الفارق الزمني بين ظهور هذه البكتيرة وظهور الإنسان، فقد يتراوح ما بين مليارين وثلاثة مليارات عام. ويتم حالياً أيضاً إنتاج أغنام بالهندسة الجينية، نُقلت إلى جينوم خلاياها البيضية (قبيل اندماج النواة البدئية الأنثوية بالنواة البدئية الذكرية مباشرة) الجين الخاص بالعامل IX الضروري في سيرورة تخثر الدم لحدوث هذا التخثر، والذي لا يوجد في دم المنعورين hemophiliacs، hémophiles. فتنتج لنا النعجة المهندسة جينياً لبناً (حليباً) يحوي اللتر الواحد منه أكثر من 35 غراماً من العامل IX (أي ملايين المرات أكثر مما يحويه الدم السوي). ولكي يتم تركيب هذه الكمية الهائلة من هذا البروتين (أو من أنواع الأنترفرون، أو العامل المضاد للتربسين ألفا، أو هرمونات النمو...)، فعلينا أن ننقل الجين الخاص بالبروتين الدوائي مع تسلسل خاص آخر من DNA، ADN، يعرف بالمحضض (يرجع إلى الحاشية 9.2). ويجب أن يكون هذا المحضض ذا فاعلية تنشيطية عالية جداً، كي يحض على تركيب كميات كبيرة من هذه البروتينات ذات الأهمية العلاجية الكبيرة. وسواءُ في النباتات المحورة جينياً genetically modified plants,(GMP) plantes génétiquement modifiés,(PGM)، أو الحيوانات المحورة جينياً genetically modified animals (GMA), animaux génétiquement modifiés(AGM) يتم إدخال الجين المعني محمولاً على بلزميد الإشريكية القولونية مثلاً، الذي يحوي جين مقاومة أحد المضادات الحيوية في الحالة الأولى، أو محضض ذا فاعلية عالية في الحالتين كلتيهما. هذا، ويوضح الشكلان 9.39 و 9.40 الطريقتين الرئيستين المستعملتين في الحصول على نباتات، وعلى حيوانات محورة جينياً.



الشكل 9.39. مخطط ترسيمي للخطوات الرئيسة المستعملة في الحصول على نباتات محورة جينياً. يمتلك النبات المحور جينياً جينين لمقاومة المضادات الحيوية: الجين الأول، وهو جين التنسيل أو الاستنسال (الاستنساخ) الذي يتيح استبقاء البناء الجيني في الإشريكية القولونية في أثناء تكاثرها. أما الجين الثاني، فيعمل على تعرف الخلايا النباتية التي كاملت في جينومها البناء الجيني، وعلى انتقاء هذه الخلايا (عن المرجع الوارد في الشكل 9.37 ص. 37).



الشكل 40.9 -أ. مخطط ترسيمي، يبين مراحل تقنية الحصول على نعجة محورة جينياً بهدف إنتـاج بروتين دوائي مهم صيدلانياً، ولقد استعمل هنا (كمثال) الجين الخاص بإنتاج البروتين مضاد التربسين ألفا. يؤشب الجين الخاص بهذا البروتين (الأحمر) في بلزميد الإشريكية القولونية مثلاً، ويؤشب معه المحضض الخاص بجين ألبومين الحليب (اللبن) lactalbumin، lactalbumine (أو الكازين casein، caséine) (الرمادي). يُحقن البلزميد الحامل للجين وللمحضض بإحدى النواتين البدئيتين لبيضة الغنم التي أخصبت للتو. تغترس البيضة المخصبة المحورة جينياً في رحم أم هُيئت للحمل (الأم البديلة). يُمسح DNA، ADNخلية من خلايا النعجة الوليدة بوساطة التفاعل السلسلي للبوليمراز (RCP) (يرجع إلى الحاشية 3.9، وإلى الشكلين 10.9 و 11.9) للتأكد بتقنية تبصيم ساوزرن southern blot من وجود البناء الجيني المأشوب (تنجح عادة تجربة واحدة من أصل مئات - إن لم يكن آلاف - التجارب). عندما تصل النعجة سن النضج، فإن الجين المأشوب الخاص بمضاد التربسين ألفا يُفعّل من قبل محضض جين ألبومين الحليب (اللبن) في خلايا غدة الثدي (التي تركب بروتين ألبومين الحليب - اللبن). ويكون الحليب (اللبن) المفرز محتوياً على البروتين الدوائي (مضاد التربسين ألفا) بتركيز يفوق ملايين المرات (أكثر من 30 غراماً في اللتر) تركيزه في الحليب (اللبن) السوي (عن Gilbert, 1994، المرجع 66، ص. 379).



الشكل 40.9 -ب (شرح الشكل في الصفحة التالية)

الشكل 40.9 ـ ب . إنشاء فأر محور جينياً بالتقنية المبينة في الشكل السابق (9 . 40 -أ) . لقد تم إدخال جين هرمون النمو ومحضض قوي في البيضة المخصبة . لاحظ فرق الحجم بين الفأر السوي (اليمين)، والفأر المحور جينياً (اليسار) (عن المرجع الوارد في الشكل السابق 9 . 40-أ، ص378) .

إن هذا النقل للجينات (من كائن حي إلى آخر بعيد عنه تصنيفياً وتطورياً)، يعرف بالانتقال الأفقي horizental transmission ، transmission horizentale، وهو انتقال لا يتم عادة في الطبيعة، إنما هو صنعي، يقوم به إنسان القرن العشرين والقرن الحادي والعشرين لأغراض ظاهرها خير ونبيل (توفير كميات من المحاصيل الغذائية التي يحتاجها ملايين البشر من شعوب العالم الثالث الجائعة، أو الحصول على أدوية علاجية تخفف من آلام المرضى، وتقلل من معاناتهم إن لم تخلصهم منها كلياً) . أمَّا حقيقة هذه الأغراض، فغالباً ما تتمثل (كما سنعرض لذلك لاحقاً) بتحقيق الربح المادي الفاحش، بأقصر زمن ممكن . ولقد قامت شركات غذائية ودوائية معدودة (تمتلك رؤوس أموال هائلة الضخامة) بتحضير عشرات أنواع البذور لنباتات محورة جينياً (نذكر منها على سبيل المثال وليس الحصر : الذرة والبطاطا والقمح والبندورة والكولزا والفول السوداني ـ فستق العبيد ـ والصويا . . .) . كما قامت بهندسة نعاج وأبقار يحوي لبنها (حليبها) تراكيز هائلة من بروتينات دوائية، أتينا منذ قليل على ذكر بعض منها .

ولكن سرعان ما تبين أن البطاطا المحورة جينياً لتحوي الذيفان Bt، تُمرض الجرذان التي غُذِّيت بها، وتصيب، بالإضافة إلى جهازها الهضمي، جهازها المناعي أيضاً [137-140] . كما اتضح أن الجرذان التي غُذِّيت ببطاطا عادية (غير مهندسة جينياً) مزج بها فيزيائياً الذيفان Bt لم تبد أياً من الأعراض المرضية التي ظهرت على أقرانها، التي أُطعمت البطاطا المهندسة جينياً لتحوي الذيفان Bt . أي إن التلويث الصنعي للبطاطا الطبيعية، لا يؤذي الجرذان التي يستطيع جهازها الهضمي أن يفكك هذا الذيفان المُلّوث، في حين أن هذا الجهاز لا يستطيع ذلك إذا ما شكل الذيفان جزءاً من بنية البطاطا، وتم تركيبه ليُربط جزيئياً بمادة البطاطا، ويصبح داخل خلايا النبات، أو تضعه على سطحها، أو حتى تفرزه خارج هذه الخلايا، إنما يكون مرتبطاً بنيوياً بها (ويُرجَّح أن تحتفظ خلايا النبات بهذا الذيفان في داخلها) . وعندما أذاع الباحث نتائج بحثه هذه، أوقفه المعهد الذي يقوم بتحضير بذور البطاطا المهندسة جينياً عن العمل . كما اتضح أيضاً أن معظم يساريع الفراش الملكي (الشكلان 9 . 41 و 9 . 42)، التي تتغذى على طلع الذرة المهندسة



الشكل 9 . 41. صورة لفراشة ملكية . يحتل الفراش الملكي موقعاً مهماً في التراث الشعبي والتربوي لسكان وسط الولايات المتحدة، حيث تزرع الذرة بكثرة . وصوره تزين صفوف المدارس والمراكز الثقافية . ويرجع هذا الموقع المتميز للفراش الملكي إلى جماله، ولأن كثرة عدد أفراده يدل على خصب موسم الذرة (عن Chesson et James, 2000 المرجع 140 ، ص . 29)

137. Masood , E., Nature **379**, 547(1999).
138. Enserink, M., Science **283**, 1094 - 1095 (1999).
139. Enserink, M., Science **283**, 1095 - 1096 (1999).
140. Chesson, A. et James, Ph., La Recherche **327** , 27 - 35(2000).
141-143 141. Stix, G., Scientific American, **August** (1999) , 28 - 29.
142. Ferber, D., Science **286**, 1662 - 1666 (1999).
143. Lichtenstein, C.P., La Recherche **327**, 39 - 44 (2000).

جينياً، لتحـوي الذيفان Bt، وعلى طلع النباتـات المزروعـة في الحقول المجاورة لحقـول نبـات الـذرة قد مـاتت [141-143] . وبالنظر إلى أن هذا الفراش ذائع الصيت لجمال ألوان أجنحته، يدخـل على نطـاق واسـع جداً في مناهـج مدارس ولايـات أواســط الولايــات المتحــدة، وفي آدابــهم الشــعبية،



الشـكل 9 . 42. صورة ليسروع الفراش الملكي التي يشـكل طلع الذرة غذاءه الرئيس، ويظهر اليسروع في هذه الصورة متسـلقاً الصقلاب (حشـيشـة اللبن) Milkweed . لقد ماتت أعداد كبيرة من هذه اليساريع في أواسط الولايات المتحدة بسبب زراعة الذرة المحورة جينياً ، حيث أدخل في جينوم الذرة الجين المسؤول عن إنتاج ذيفان Bt المبيد للحشرات (Bt من الاسم التصنيفي للبكتيرة Bacillus Thuringiensis التي تنتج هذا الذيفان (عن Ferber, 1999 ، المرجع 142 ، ص . 1662) . قارن هذا الشكل بالشكل 9 . 37.

وقصص أطفالهم، وتزين صوره ونماذجه جدران مدارسهم وغرف نوم أطفالهم، فإن احـتجاجـات واسـعة النطاق (كمظاهــرات، وإعلانــات على الإنترنت خــاصة) حدثت في الولايات المتحدة وكندا وأوروبة، تمخض عنها هبوط أسعار الذرة المهندسة جينياً، وارتفاع أسعار الذرة العادية، في حين أن العكس كان صحيحاً قبل اتضاح هذه الأمور . كما عمدت شركات أوروبية عديدة إلى إلغاء عقود كانت أبرمتها مع مزارعين أمريكيين، وشركات ومصانع أمريكية، لشراء الذرة المهندسة جينياً، أو منتجات هذه الذرة . وتجدر الإشارة إلى أن العدد من مجلة La Recherche (المجلد **327** كانون الثاني (يناير) 2000 الصفحات 26ـ44)، يحوي تقريراً مفصلاً عن النباتات المحورة جينياً، كما أن المرجع 83 الذي أوردناه في بداية هذا الفصل (وهو كتاب بالفرنسية، يتألف من 164 صفحة) يضم مجموعة من المقالات، كتبها باحثون أخصـائيـون في الـهـنـدسـة الجيـنية، يعرضون فيها لمخاطر هذه التقنية، ولأخطارها على النوع البشري والأنواع الحية الأخرى، ومن ثم على بيئة الأرض.

وبالنظر إلى أن الجينات التي تنتقل (بالهندسة الجينية) انتقالاً أفقياً من كائن حي لآخر، دونما أي قرابة جينيومية، ستحدث شوشاً مؤكداً في مجمل الإرث الجيني الطبيعي للكائنات الحية كلها، فإن أخطارها ليست محتملة فقط بل ممكـنـة، وحـتـى أنـهـا مـؤكـدة، وذلك إذا أخـذنـا بالاعتبار طرائق انتقال الجينات بين أنواع البكتيريا بالتنبيغ والاقتران والاستحالة، وكذلك بين الفيروسات والكائنات الحية الأخرى، التي تعيش هذه الفيروسات في خلاياها بدءاً من البكتيريا حتى الإنسان. ونذكر من بين هذه الأخطار التي أضحت واضحة الآن الأمور التالية [83و143] :

أولاً. ظهور أمراض فيروسية المنشأ (خلال السنوات العشرين المنصرمة) لا عهد للإنسان بها، كمتلازمة عوز المناعة البشري المكتسب (الإيدز أو السيدا)، ومرض إيبولا، والتهاب الكبد من النمط C (الذي قد تنتهي الإصابة به إلى تسرطن الكبد). ويُعَدُّ هذا الالتهاب المرض الأول الفيروسي الذي يفتك بالإنسان بعد متلازمة عوز المناعة البشري المكتسب، ولا يفوقه أي مرض آخر من حيث عدد الإصابات، إذ يقدر هذا العدد حالياً بأكثر من 170 مليون إصابة [144] . وتجدر الإشارة إلى أن مـا يـقـرب مـن ربـع سـكـان مصـر مصـابـون بـهـذا المرض نـتيجة استعمالهم (ولسنوات عديدة خلت) محاقن (زرَّاقات) syringes، seringues كانوا يتبادلونها لحقن علاج مضاد للبلهارسيا. وبالإضافة إلى ذلك، فإن أمراضاً

144. Cohen, J., La Recherche **325** , 68 - 74 (1999).

بكتيرية المنشأ تقليدية معدية (خمجية)، كالكوليرا والملاريا (البرداء) والخُناق. عادت إلى الظهور وبفوَّعة (ضراوة) لا سابق لها، وذلك على نطاق الكرة الأرضية كلها. ونذكر أيضاً أنَّه لا يمر شهر واحد تقريباً، إلا وتشهد بريطانيا مثلاً وباءً من نوع ما (من العقديات، إلى التهاب السحايا، إلى ذرية شديدة الإمراضية من الإشريكية القولونية). ولابد من الإشارة في هذا الصدد (والكتاب قيد الطباعة) إلى انتشار وباء المتلازمة الرئوية اللانمطية الوخيمة (السارز) sever (SARS) atypical respratory syndrome, syndrome atypique respiratoire grave الذي بدأ (على مايبدو) في الصين شهر تشـــرين الثاني (نوفمبر)2002 بإصابات معدودة، وانتشر حتى مطلع أيار (مايو)2003 إلى أكثر من 32 بلداً، وأخمج أكثر من 8 000 إنسان، وقتل مايزيد على 700 إنسان. وعلى الرغم من جميع الجهود التي تبذل، فإنه لم يتم التوصـل حتى الآن (حزيران - يونيه - 2003) إلى أي علاج لهذا الفيروس، الذي ينتشر عن طريق الهواء، ولايصيب الأطفال (لأسباب غير واضحة)، ويميل إلى إخماج (إعداء) العرق الأصفر أكثر من غيره.

ثانياً. تزايد مقاومة أنواع البكتيريا الممرضة للمضادات الحيوية. فلقد تم عزل ذرية من الإشريكية القولونية من مستشفى، يقع في إحدى ضواحي كمبردج بإنكلترا، قاومت 21 من أصل 22 نوعاً مختلفاً من المضادات الحيوية. كما أن ذرية من ذراري العنقوديات عُزلت عام 1990 في أستراليا، قاومت 31 نوعاً من المضادات الحيوية. وكما كنا عرضنا في هذه الفقرة، فإن الهندسة الجينية (وبخاصة في النباتات) تستعمل على نطاق واسع أنواعاً من البلزميدات، تحمل جينات مقاومة أنواع مختلفة من المضادات الحيوية. إن الآمال التي عُقدت في سبعينات هذا القرن على الهندسة الجنينية والتقانة الحيوية (وعلى نحو مستعجل يعوزه التبصر، ويفتقر إلى الحكمة)، تحولت خلال ربع قرن إلى كابوس، يزرع الهلع في قلوب بعض الباحثين وذلك عندما تخطر في أذهانهم فكرة انتقال جينات مقاومة المضادات الحيوية (بشكل أو بآخر) إلى الإنسان نفسه، فيغدو مقاوماً للمضادات الحيوية. لقد تحول الحلم فعلاً إلى كابوس. لقد كنا كلنا في السبعينات (وحتى أواسط الثمانينات) مفتونين بما تحققه الهندسة الجينية والتقانة الحيوية من إنجازات. ولم نكن لنـدري أننا أمام علم«سـيئ»، و سيئ جداً. إن العلم الحقيقي الذي لم يسمح للمال بالتحالف معه لم يكن، ولن يكون، علماً سيئاً. لكن العلم يصبح سيئاً وبشعاً عندما يعقد مع رأس المال تحالفاً لا حول له فيه ولا طول. إن شهوة الربح المادي ستحيله عندئذ إلى علم همجي لاإنساني، يدمر القيم الحضارية كلها. وهذا ما حدث للفيزياء النووية عندما سخرها الصلف السياسي (وأساسه اقتصادي بـطـبيعة الحال) في صيف عام 1945 فـأُلـقـيت الـقـنـبلتان الذريتان على مدينتي هيروشيما وناغازاكي (اللتين كانتا قيد الاستسلام) بذريعة ضرورة الإسراع في إنهاء الحرب. وهذا ما يحدث حالياً في الشرق الأوسط.

ثالثاً. إن الانتقال الأفقي للجينات (بين أنواع لا علاقة لبعضها بالبعض الآخر)، يتم إما بنتيجة الإصابات الفيروسية التي يتم فيها استعمال جينات توجد في الطبيعة وأدخلتها في جينومها الخلايا المصابة بالفيروس، أو بسبب التنبيغ (أي انتقال جينات من بكتيرة إلى أخرى بوساطة الفيروسات عاثية ـ ملتهمة ـ البكتيريا)، أو عن طريق الاقتران البكتيري بين نوعين من البكتيريا لا قرابة بينهما، أو بسبب الاستحالة (التحول)، أي التقاط البكتيريا لقطع من DNA، ADN تحررت في الوسط من بكتيريا أصابها الموت والتحلل (يُرجع إلى بداية هذه الفقرة). لقد كان هذا الانتقال الأفقي للجينات (وما يرافقه من إعادة التراتب والبناء الجينيين) مسؤولاً مثلاً عن وباء الكوليرا الذي انتشر في الهند عام 1992، وعن انتشار ذرية الإشريكية القولونية المعروفة بالرمز E 157 وذات الإمراضية الشديدية، في كل من إيرلندا وبعض مناطق

الولايات المتحدة في أواسط التسعينات. ونحن نعلم الآن أن الذرية E 157 للإشريكية القولونية هذه قد تحدرت من الشيغلّة *Shigella* نتيجة الانتقال الأفقي للجينات. إن الأمثلة على ذلك عديدة جداً، وقد يأتي في مقدمتها الطاعون الدبَلي (ذو التاريخ الأسود) الذي روع البشرية، وأجهز (منذ أيام الفراعنة، وربما قبل ذلك) على ملايين الأنفس البشرية.

رابعاً. من المعروف حالياً، وخلافاً لما كان يعتقد سابقاً، أن الانتقال الأفقي للجينات لا يقتصر على البكتيريا فقط، إنما يتناول الأنواع الحية كلها: الحيوانية والنباتية والفطور. ويتم ذلك على وجه التخصيص إذا كانت الجينات محمولة على مادة، هي الأخرى جينية (كالبلزميدات مثلاً). ولقد اتضح أيضاً أن الجينات المقاومة للمضادات الحيوية، التي نُقلت إلى النباتات المحورة جينياً، قد وجدت طريقها إلى فطور التربة وبكتيرياتها. وتعمل هذه الفطور وهذه البكتيريا كمستودع للجينات، وكأداة نقل لها، منشطة التضاعف الجيني، وتتيح لهذه الجينات الانتشار في الوسط، وإعادة التراتب والبناء مع جينات أخرى، الأمر الذي يؤدي إلى نشوء بكتيريا ممرضة جديدة.

خامساً. وخلافاً لما أراد البعض أن يعتقد، فإن أنواع البكتيريا والفيروسات الممرضة، التي يتم تحضيرها أو إنشاؤها في المختبر، لا تبقى محصورة على نحو محكم في هذا المختبر أو ذاك. ومن الخطأ تماماً الاعتقاد أن هذه الذراري الممرضة ليس أمامها (كما روَّج لذلك البعض) أي فرصة للانتشار في الطبيعة. فلقد تم البرهان على أن هذه الأنواع البكتيرية والفيروسية الممرضة، تستطيع العيش والتكاثر بسهولة خارج المختبر، أو أنها تعود إلى حالة من الكمون (الهجوع)، لتظهر من جديد بعد أن تلتقط جينات جديدة من أنواع بكتيرية أخرى، فتجعلها أشد إمراضية. ولقد اتضح أن أنواع البكتيريا تتعاون وتتآزر فيما بينها أكثر من أن تتنافس وتتصارع، وذلك في الحالات التي تتشارك فيها بخصائص تساعدها على تحقيق أهم ما تحتاج له (وهو البُقيا، أي البقاء على قيد الحياة).

سادساً. يعتقد كثير من الباحثين أن النباتات المحورة جينياً، ونتيجة دخولها في السلسلة الغذائية، ستشكل خطراً على صحة الإنسان. وتجدر الإشارة إلى أن جماهير هندية غاضبة عمدت في العام الماضي إلى إحراق حقول كاملة من القمح المحور جينياً، تملكها إحدى الشركات الأمريكية، التي تطور عدداً كبيراً من أنواع البذور النباتية المحورة جينياً. كما يمكن لهذه النباتات المحورة جينياً أن تلحق الأذى بنباتات«بريئة»، تعيش في الجوار، ولا علاقة لها بما يجري لنباتات تخضع للهندسة الجينية. إن هذه الحقائق ترجح إمكان حدوث **تلوث جيني**، يصيب الكائنات الحية كافة. وبدهي أن **يشكل هذا التلوث الجيني** (إذا ما حدث) أكبر كارثة ستعرفها الأرض، ويمثل (في ما يتعلق بالإنسان) أفظع وأبشع جريمة يرتكبها الإنسان نفسه بحق التطور الموجه، وبحق قوانين الطبيعة (إرادة الله). إنه الكابوس الأشد رُعباً.

سابعاً. إن الكائنات المحورة جينياً (والنباتات منها خاصة) ستؤدي، إذا ما تم استعمالها على نطاق واسع في العالم الثالث بدعوى توفير الغذاء المهندس جينياً لشعوبه لمنع انتشار المجاعات بينهم، ستؤدي إذاً إلى نهب الثروات الجينية لنباتات وحيوانات هذه الشعوب، وقتل هذه الجينات. ذلك أن جينومات كائنات هذه الشعوب ستستعمل للدراسة في المختبر كعينات ونماذج بدائية ثمينة جداً للإفادة منها في تطوير كائنات حية جديدة مهندسة جينياً (وتروي مجلة من المجلات العلمية المرموقة أن أحد الباحثين الغربيين قد احتال على مواطن من قبيلة بدائية، تقطن إحدى جزر المحيط الهادئ الأسيوية، وأخذ منه عينة من دمه، باعها بنحو مليوني دولار). كما أن الجَميعة الجينية لهذه الشعوب ولكائنات بيئتها، ستلَوَّث جينياً وعلى نطاق واسع. وسينكفئ قسم منها أمام سيادة الكائنات المحورة جينياً.

ثامناً. إذا قدر للعولمة أن تسود، فإن الشركات المعدودة التي تصنع النباتات والحيوانات المحورة جينياً، ستشكل ركناً أساسياً من أركان هذه العولمة، وستحتكر النظام الغذائي للعالم الثالث، وستسيطر (بالتواطؤ مع حكومات بلدان هذا العالم) على غذاء شعوبها، وستنهب ثرواته (التي يتفاقم فقرها وشحٍّ مواردها باستمرار) على نحو منهجي، فتتزايد ويلات هذه الشعوب التي تم ظاهرياً توفير الغذاء لها، ولكن على حساب إفقارها مادياً إفقاراً متزايداً، وعلى حساب كارثة تلويث جَميعاتها الجينية. وستنجم عن ذلك ويلات ومصائب أمرُّ وأدهى من الويلات والمصائب التي عانى منها سكان مدينتي هيروشيما وناغازاكي. إن الإدعاء بأن الطبيعة تقوم بالهندسة الجينية بنقلها جينات نوع ما إلى نوع آخر هو إدعاء فيه الكثير من المغالطة [143]. فالطبيعة (وعلى العكس تماماً) أقامت حواجز صارمة جداً في وجه الانتقال الأفقي للجينات، ولم تنقل جين مقاومة المضادات الحيوية في البكتيريا إلى نبات الذرة مثلاً، أو جين الذيفان Bt (القاتل للحشرات) إلى نباتات كالبطاطا والذرة والصويا (إن أكثر من سبعين في المئة من محاصيل هذا النبات، الذي يزرع في الولايات المتحدة مهندسة جينياً)، وإلى غيره من النباتات التي تدخل في السلسلة الغذائية للكائنات الحية كافة، بما في ذلك الإنسان. فإذا كان هذا النقل للجينات مفيداً للطبيعة، فلماذا لم تعمد هي (ذات العلاقة الأولى بذلك) إلى إجراء عمليات هذا النقل ؟

ويحق لنا الآن أن نتساءل عن السبب الطبيعي المسؤول عن جعل علم تحوير الأحياء جينياً (وبعد أن عقد هذا العلم تحالفه الوثيق مع رأس المال) علماً سيئاً، ويُحَوِّل الحلم إلى كابوس ؟ إن الإجابة عن هذا التساؤل تكمن (إذا ما وضعنا جشع الإنسان جانباً) في خصائص الجزيء المسؤول عن الحياة نفسها، إنه جزيء DNA، ADN ذو الحلزون المزدوج.

يُحكى أن «آينشتاين» شعر بفرح عارم، استمر لأيام عديدة عندما أضاف في حساباته عام 1915 تأثير طاقة الحقل الثقالي للشمس (وليس فقط كتلة الشمس التي تقتصر عليها ثقالة »نيوتن«) لدى تفسيره على وجه صحيح الفرق بين ما تقدمه الحسابات المبينة على أساس ثقالة «نيوتن»، وبين القياس الفعلي لتغير اتجاه مدار الكوكب عُطارد (يعود اتجاه مدار عُطارد فعلاً إلى وضعه الأصلي مرة كل 000 225 عام، في حين أن ثقالة «نيوتن» تتنبأ بزمن قدره 000 244 عام، يُرجع إلى الحاشية 6.2). وهكذا، فإنَّ البيولوجيين الجزيئيين، وكذلك الكيميائيون الحيويون، فرحوا فرحاً عارماً (ربما يفوق فرح«آينشتاين») عندما اكتشفوا صلابة جزيء DNA، ADN، التي ستضع حداً لمعاناتهم في تعاملهم مع البروتينات، التي أضجرتهم كثيراً هشاشتها وسهولة تمسخها، وسئموا صعوبة استخلاصها، وأفزعتهم كثرة أشكالها الفراغية ثلاثية الأبعاد. وعلى النقيض تماماً، يمكن استخلاص DNA، ADN بسهولة، ويكون شديد النقاوة، كما بوسع الباحثين تضخيم تسلسل ما من هذا الحمض ملايين المرات خلال أقل من ساعة بالتفاعل السلسلي للبوليميراز (يُرجع إلى الحاشية 9.3).

لقد عرضنا غير مرة أن جزيء RNA ، ARN أحصر تطور«حياة» بلورات الصلصال لأن هذا الجزيء أعقد بنية، وأفضل وظيفة من بلورة الصلصال. ولكن عالم RNA ، ARN ساد ظنياً قرابة نصف مليار عام، ليتراجع (دون أن ينقرض)، ويفسح المجال أمام جزيءDNA، ADN ذي البنية الأعقد والأداء الأفضل، كي يبني على الأرض حياة ذكية، يكون فيها الإنسان (وفقاً للتطور الموجه ذي المعنى الذي لا مكان للمصادفة فيه) خليفة الله في الأرض. لقد احتفظ هذا الجزيء لنفسه حصراً بالنمط الجيني، وترك النمط الظاهري للبروتينات، وأسند التطور الموجه وظيفة ترجمة رموز النمط الجيني إلى النمط الظاهري، أسندها إلى جزيء RNA، ARN (بالإضافة إلى وظائف حيوية ومهمة جداً، احتفظ

بها RNA، ARN لنفسه، يرجع إلى الفقرة 5.7 و إلى الحواشي 7.7 ـ 7.9). ولقد كانت صلابة جزيء DNA، ADN ذي الحلزون المزدوج في طليعة الميزات التي جعلته يسود على عالم جزيء RNA، ARN ذي الشريطة الأحادية الهشة. لقد أتى التطور الموجه بجزيء DNA، ADN ليكون أصلب جزيء بيولوجي مُرمِّز عرفته الطبيعة، ويكون (بناء على ذلك) أهلاً للاحتفاظ بالنمط الجيني. إن هذا الجزيء سيؤتمن على حدوث سيرورة بناء حياة ذكية. ويمكن للدلالة على صلابة هذا الجزيء، ومقاومته للشروط غير الملائمة (التي تسبب بسهولة تمسخ ـ تشوه ـ بنية كل من RNA، ARN والبروتينات، ومن ثم فقدانها لوظائفها)، أن نورد الملاحظات التالية:

1. إن صلابة الجزيء، وشدة مقاومته، ترجعان إلى طبيعة حلزون «واتسون ـ كريك» المزدوج، الذي يمكن (تبسيطاً للواقع) تشبيه بنيته بالسلم، حيث يشكل السكر وزمرة الفسفات قائمتيه، في حين أن عوارضه، تتألف من أساسين متتامين من الأسس الأربعة، حيث تمتن رابطتان هدرجينيتان ارتباط أساس الأدنين بالتيمين، وتدعِّم ثلاث روابط هدرجينية ارتباط أساس الغوانين بالسيتوزين. لقد نجمت هذه البنية السُلَّمِيّة المزدوجة (كما أشرنا غير مرة) عن إرجاع زمرة الهدروكسيل للكربون الثاني في جزيء الريبوز إلى هدرجين فقط. وبذلك أُزيل التنافر بين هذه الزمرة (OH^-) ذات الشحنة السلبية وبين زمرة الفسفات المرتبطة بالكربون الخامس للريبوز، وهي زمرة شديدة السلبية. فأمكن بذلك تشكل حلزون «واتسون-كريك»؛ بنية لم يستطع RNA، ARN تشكيلها، بسبب احتوائه على الزمرة OH^-، لأن الريبوز فيه عادي (غير مرجع، أو غير منزوع الأكسجين)، ويحوي أكسجين زمرة الهدروكسيل فيه ثلاثة الكترونات حرة، تمنح هذه الزمرة شحنتها السلبية، التي تتنافر مع الشحن السلبية لزمرة الفسفات. ومع أن التشافع يحدث هنا وهناك في جزيء RNA، ARN، وتبدأ البنية الحلزونية بالتشكل. إلاّ أن شدة التنافر تعيق استمرار هذا التشكل. إن هذه البنية السُلَّمية (ذات القوائم المتينة، حيث ترتبط الفسفات بالريبوز المنزوع الأكسجين برابطة إسترية قوية، وذات العوارض المتينة نتيجة تتامية الأسس من جهة، ونشوء الروابط الهدرجينية من جهة أخرى)، إن هذه البنية تمنح إذاً الحلزون المزدوج الصلابة التي نتحدث عنها. أضف إلى ذلك أن البنية الحلزونية نفسها تمنح الجزيء قوة إضافية. وكما سبق أن ذكرنا، فإن المهندسين المعماريين، ومنذ الحضارات الأولى، كانوا (في كل مرة يرغبون فيها في بناء أشد الأعمدة متانة) يبذلون مزيداً من المهارة والجهد والوقت كي يصنعوا أعمدة حلزونية (وليس اسطوانية)، يفخرون (بالإضافة إلى متانتها) بجمالها وأناقتها. وهكذا، فإن التطور الموجه ذا المعنى (المهندس المعماري الفذ) بنى النمط الجيني على شكل حلزون متين وأنيق وجميل، يذكر كثيراً بضرورة أناقة وجمال النظرية كي تكون صحيحة، موضوع طرحه لأول مرة «ديراك» (يُرجع إلى الحاشيتين 1.3 و 1.5).

2. صحيح أن حلزون DNA، ADN يتمسخ بالغليان، ولكن لا تفقده هذه الحرارة مقدرته على إعادة تشكيل بنيته. وجُلّ ما يحدث أن الروابط الهدرجينية الخمس تتحطم، وتنفصل شريطتا الحلزون عن بعضهما. ولكن ما إن يتبرد المحلول دون الدرجة 60 سلسيوس، حتى يعود هذا الحلزون للتشكل من جديد، تماماً كما كان في بداية التجربة. وهذا هو أساس التفاعل السلسلي للبوليميراز PCR، (يُرجع إلى الحاشية 3.9). إن إعادة تشكيل البنية الحلزونية المزدوجة ترجع أساساً إلى طبيعة «تتامية» «واتسون ـ كريك».

3. يمكن لحلزون DNA، ADN المزدوج أن يحافظ على بنيته في الطبيعة، وأن يُؤخذ من قبل بكتيرة (جرثوم) أو فيروس ما، وينجبل في جينومها، لينتقل إلى بكتيرة أخرى بالتنبيغ، أو يتم تبادله بين بكتيريتين بالاقتران، أو أن يُلتقط من الوسط من قبل بكتيرة ما بالاستحالة (التحول)، وينتشر بين الكائنات الحية.

4. وخلافاً لما اعتُقد سابقاً، فإن قطعDNA ، ADN لا تفقد هويتها في الجهاز الهضمي للإنسان، ولا تقوضها أنزيمات هذا الجهاز، التي لاتشتمل على أنزيمات التقييد (أنزيمات حلمهة -تقطيع- جزيء DNA، ADN). ولقد أمكن البرهان على أن عدداً من الفيروسات بقيت كما هي في إثر مرورها في الجهاز الهضمي للفأر.

5. بوسع جزيءDNA، ADN أن يصل بسهولة إلى الدم، ويدخل بيسر في خلايا مختلفة، وقد ينجبل في صبغياتها (جينومها)، محدثاً التسرطن (هذا، ويمكن الرجوع من أجل مزيد من المعلومات إلى المرجع المهم ذي الرقم 83 الذي أوردناه في بداية هذا الفصل).

6. إن هذا الانتقال الأفقي للجينات كان وراء تكون فيروسات، أحدثت أمراضاً لا عهد للإنسان بها، ويُعدُّ مسؤولاً عن مقاومة عدد من النباتات لفيروسات معينة، وعن حدوث عدد من الطفرات الخطرة، التي لوحظت مؤخراً في الإنسان. كما أن اللَقاحات الجينية (التي هي نمط من أنماط الانتقال الأفقي للجينات، يُرجع إلى الفقرة 4.9)، قد تشكل أساساً لنشوء عوامل ممرضة جديدة.

إن هذه الملاحظات، وأخرى غيرها، كانت وراء التحذير الذي أتى في بداية هذا الفصل، وأطلقه الفيزيائي البريطاني السير«جوزيف روتبلات» (الذي حصل عام 1995 على جائزة نوبل للسلام لمناهضته الأسلحة النووية) من أن الهندسة الجينية. قد تصبح أشد خطراً على الإنسان من السلاح الذري.

ويحق لنا الآن أن نتساءل عن القواعد الأخلاقية التي لا بد من الالتزام بها كي تمنع (ولو جزئياً) حدوث هذه الكوارث التي تحيق بالإنسان وبالأرض. ويمكن صياغة ما هو أساسي من هذه القواعد (كما نقترحها شخصياً) على النحو التالي :

أولاً. التوقف كلياً، ومنذ هذه اللحظة، عن إجراء تجارب الهندسة الجينية ذات الغاية التصنيعية، والنقل الأفقي للجينات على وجه التخصيص، ومهما كانت الذريعة التي تبرر إجراء هذه التجارب. وعلى حكومات الدول أن تصدر تشريعات تحرم فيها تحريماً صارماً القيام بهذه الدراسات في المختبر وفي الحقل.

ثانياً. الامتناع عن إنتاج كائنات حية محورة جينياً مهما كان نوعها (نباتية أو حيوانية)، وتحريم استعمال النباتات المهندسة جينياً باتخاذ مجاعات شعوب بعض بلدان العالم الثالث ذريعة لذلك[145]. وإيجاد سبل لمساعدة بلدان الجنوب بطرائق تحفظ للأرض سلامتها، وللإنسان كرامته وإنسانيته.

ثالثاً. النهوض (على السواء) بمستوى وعي شعوب دول الشمال المصدرة [146]. للتقانة الحيوية، ووعي شعوب العالم الثالث، التي يفترض أنها ستستعمل هذه التقانة، كي يدرك الجميع إدراكاً معمقاً الخطر الذي يتهدد مستقبل الإرث الجيني الذي أؤتمنت هذه الشعوب عليه، وأن يتفهموا أن سلامة هذا الإرث أقدس من لقمة الغذاء الظرفية التي يُلوَّح لهم بها. وعلى هذه الشعوب أن تعي بأن بعض مسؤولي حكوماتها يتواطأ مع الشركات الاحتكارية للتقانة الحيوية، كي تتخلى هذه الشعوب عن سلامة إرثها الجيني مقابل لقمة العيش. ويتوجب على هذه الشعوب أيضاً أن لا تسمح بنهب هذا الإرث لأن مصيرها مرتهن به.

145. Macilwain, C., Nature **402**, 341 - 345 (1999).

كما يوجد مع هذه المقالة (المرجع 145) مثالان على حكومة (هي حكومة الهند) قررت (وعلى الرغم من إحراق المزارعين حقول القمح المحور جينياً والعائدة لشركة مونسنتوMonsanto الأمريكية) السماح باستعمال النباتات المهندسة جينياً، وعلى حكومة أخرى (هي حكومة البرازيل) قررت منع استعمال النباتات المحورة جينياً.

146. Macilwain, C., Nature **402**, 571 (1999).



رابعاً. تحريم الاستنساخ البشري تحت أي ذريعة من الذرائع. وعلى حكومات الشعوب التي لها حضارات عريقة الجذور(ومن ثم قيم إنسانية ذات أصول تاريخية راسخة) أن تصدر تشريعات صارمة تحرم الاستنساخ البشري(حيث أخفقت كل المحاولات التي أجريت حتى الآن، وستخفق مهما تقدمت التقنيات).

خامساً. التوقف كلياً عن استعمال الخلايا الجذعية الجنينية مهما كانت المعالجات، التي ستستعمل فيها هذه الخلايا، ذلك أن عدم الامتناع عن هذا الاستعمال سيقود حتماً إلى الاتجار بالأجنة البشرية. إن تحالف العلم مع رأس المال لن يكون إلا لصالح هذا الأخير، ولن ينتج إلا علماً سيئاً. ونعتقد جازمين أن كل نسيج في الجسم يحتوي على خلايا «جنينية» احتياطية، تعوض باستمرار عن الخلايا الوظيفية التي تهلك. وعلى الباحثين أن يتعرفوا هذه الخلايا الجذعية، ويعمدوا إلى عزلها، ويستعملونها عوضاً عن استعمالهم للخلايا الجذعية الجنينية.(لقد حدث ذلك فعلاً، يرجع إلى نهاية الفقرة 5.9).

سادساً. الامتناع عن استعمال الجينات كلَقاحات بما يعرف باللَقاحات الجينية. ذلك أن انجبال جين غريب (بالانتقال الأفقي) في جينوم الإنسان قد يتمخض عن عواقب وخيمة، أقلها نشوء الخباثة (التسرطن). ويجدر بالباحثين إيجاد التقنيات المناسبة لرفع مستوى تنبيه الخلايا المناعية باستعمالهم (على سبيل المثال لا الحصر) محضضات أو معززات جينية بشرية، أو مواد نوعية ترفع مستوى الاستجابة المناعية.

إن هذه الأخطار، وأخرى غيرها، هي التي دفعت سبعة وعشرين عالماً من حملة جائزة نوبل، كي يوقعوا على نداء يطلبون فيه من الباحثين أن يتبصروا قبل أن يتصرفوا[95]. كما أن هذه الأخطار دفعت بالسير«جوزيف روتبلات» (الذي ورد ذكره آنفاً) ليقترح صيغة قسم (يماثل تقريباً قسم«هيبوقراط» Hippocrate، الذي يؤديه الأطباء عند تخرجهم)، ويقسم فيه الباحث الخريِّج على ما يلي: «**أتعهد بان أعمل من أجل عالم أفضل، حيث يُستعمل العلم، وتُستعمل التقانة على نحو مسؤول اجتماعياً، وبأنني لن استعمل علمي أو ثقافتي لأي غرض يُقصد منه إلحاق الأذى بالإنسان أو بالبيئة. وسأضع نصب عينيَّ، وطوال عملي في مهنتي، المضامين الأخلاقية لأي عمل سأقوم به، وقبل أن أقدم عليه. وبغض النظر عن جسامة المسؤوليات التي ستُلقى على عاتقي، فإنني أوقع على هذه الوثيقة، ذلك أنني أدرك أن المسؤولية الفردية هي الخطوة الأولى على طريق السلام**[147]». [فعلى كل من يناضل من أجل حرية الإنسان وحقوقه، أن يتحقق من أن تصرفه العلمي ينطوي على مسؤولية، قد تكون جسيمة. فكما أن له الحق في أن يطالب، فإن للإنسانية عليه واجباً يجب أن يؤديه. ولن يستطيع بعد الآن أخلاقياً أي باحث من الباحثين أن يتذرع بأي ذريعة مهما كانت لدى إقدامه على فعلة تنال من سلامة الأرض، أو قدسية الإنسان باعتباره خليفة الله في الأرض. ﴿وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لا تَعْلَمُونَ﴾ [سورة البقرة: 2/ 30].

وقد يكون من المفيد أن نعرض لمثل واحد عما يفعله التحالف بين رأس المال والعلم، وما يتمخض عن ذلك من علم سيئ، ينال من كرامة الإنسان ومن إنسانيته.

ففي منتصف ليل الحادي والثلاثين من كانون الأول (ديسمبر) عام 1977 (أي في الدقائق الأولى من عام 1978،

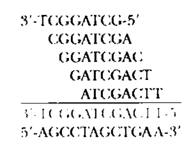
147. Sir, Rotblat , J., Science **286**, 1475 (1999).

حيث يُتوقع عدم وجود أي باحث في المختبرات كلها، ذلك أن الجميع يحتفل ببداية العام خارج المختبرات)، دخل خلسة[148] باحث أحدَ مختبرات جامعة كلفورنيا بسان فرنسيسكو، وسرق عينة من DNA، AND ، تشتمل على الجين المُرمِّز لهرمون النمو البشري. كان هذا الباحث يعمل سابقاً في المختبر الذي دخل إليه، ولكنه انفك عن المختبر، والتحق منذ أشهر بشركة «جينينتك» Genentech الشهيرة للتقانة الحيوية. وكان هذا الجين مسجلاً كبراءة اختراع لصالح جامعة كلفورنيا بسان فرنسيسكو. قامت عندئذ «جينينتك» بتصنيع هرمون النمو البشري، وباعت منه (حتى عام 1999) كميات، فاق سعرها ملياري دولار. أقامت الجامعة في العام الذي حدثت فيه عملية السطو دعوى على «جينينتك» بتهمة انتهاك حق براءة الاختراع. استمرت المحاكمة قرابة عشرين عاماً [حتى أواسط تشرين الثاني (نوفمبر) عام 1999]، حيث تم إنهاؤها عندما وافقت «جينينتك» على دفع مئتي مليون دولار لجامعة كلفورنيا بسان فرنسيسكو ! وكما سبق أن عرضنا (يُرجع إلى الحاشية 9 . 1)، فإن «كريغ فنتر» الذي يرأس شركة «سيليرا» في الولايات المتحدة، يصر على تسجيل واسمات التسلسلات المعبَّر عنها (EST) الخاصة بجينات الإنسان كبراءات اختراع، ليبيعها كأي مادة تجارية، منتهكاً بذلك «اتفاقية برمودا» التي تنص على وضع هذه التسلسلات، وبعد 24 ساعة من الحصول عليها، وبشكل واضح، في بنك الجينات GenBank، ليطلع عليها الجميع مجاناً، دونما أي مقابل ! مع أن هذا الباحث كان أحد موقعي «اتفاقية برمودا».

وأخيراً، علينا أن نؤكد بوضوح أن ما نقصده بالعلم السيئ (الذي يستوجب التحريم المطلق) هو العلم المتحالف مع رأس المال، العلم الذي يخرق قدسية قوانين الطبيعة (إرادة الله)، ويستعمل النقل الأفقي للجينات. وعلى العكس تماماً، فإن مشروع الجينوم البشري (وضع الخرائط الأربع الوراثية والفيزيائية والكيميائية الحيوية والفيزيولوجية، يُرجع إلى الحاشية 9 . 1) سيكون لنفع الإنسان كلياً (إذا ما أُحسنت الإفادة منه، على الأقل في تعرف الجينات المعيبة التي تتسبب بنشوء عدد من الأمراض، والوراثية منها خاصة، وإذا لم تسخر المعلومات المتأتية منه لأغراض عرقية يوجينية eugenic ، eugénique). وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أنه تم الانتهاء مؤخراً من وضع الخرائط الأربع للصبغي البشري رقم 22 وتم تعرف قسم كبير من جينات الجينوم البشري (الشكل 9 . 43 -أ و ب)، [150-149] . ولقد أنجز هذا العمل فريق يتألف من 230 باحثاً من كل من إنكلترا والولايات المتحدة وكندا والسويد واليابان. ويشتمل هذا الصبغي (الذي يُعدُّ أصغر الصبغيات البشرية بعد الصبغي رقم 21) على 4 . 33 مليون شفع (زوج) من الأسس، ويحوي على الأقل 545 جيناً حقيقياً، و 134 جيناً كاذباً. وتتضمن الجينات الحقيقية على الأقل 27 جيناً ذات علاقة بأمراض وراثية معروفة، كالفُصام، وابيضاض الدم النقوي الحاد، والأمراض المرتبطة بتثلث هذا الصبغي، ولقد سبق أن أشرنا إلى أنه أعلن في شهر نيسان (إبريل) 2003 عن تعرف معظم الجينوم البشري (99.9 بالمئة)، وبخاصة الجينات ذات الصلة بالأمراض الوراثية.

ولا بد في نهاية هذه الفقرة من الإشارة إلى مجالات أخرى يمكن أن تفيد من دراسات حلزون «واتسون ـ كريك». وتأتي في مقدمة هذه المجالات الحَوسبة. فلقد تم البرهان مؤخراً على أنه يمكن بناء حاسوب، يستعمل قطرات قليلة من محلول DNA، ADN [151] ذي قدرة تفوق ملايين المرات قدرة أضخم حاسوب بُني حتى الآن، ويعتمد (بطبيعة الحال)

148. Dalton , R. and Schiermeir, Q., Nature **402** , 335 (1999).
150. Dunham , I. et al., Nature 402 , **489** - 495(1999).
151. Adleman, L. A., Scientific American , **August** (1998) , 54 - 61.0



(كحواسيب اليوم كلها) على تقانة فيزياء وكيمياء السيليكون (ويعود الكربون هنا ـ إذا ما نجحت تجربة حاسوب DNA، AND ـ ليحصر حوسبة السيليكون، كما سبق له أن أحصر تطور«حياة» بلوراته، بلورات الصلصال). هذا، ويمكن لحاسوب DNA ، ADN أن يتمتع بالميزات التالية :

ـ إن بوسع غرام واحد منDNA ، ADN أن يختزن معلومات بقدر ما يختزنه ألف مليار (أي 10^{12}) قرص حاسوبي.

ـ تنجز قطرتان من محلولDNA ، ADN ما مقداره مئة ألف مليار (أي 10^{14}) عملية ربط في الثانية الواحدة.

ـ يستطيع محلولDNA ، ADN أن ينجز 2×10^{19} (أي عشرين مليار مليار) عملية ربط بالجول الواحد (في درجة حرارة الغرفة)، علماً بأن أفضل الحواسيب العملاقة الحالية ينجز 10^{9} (أي مليار) عملية ربط فقط بالجول الواحد، وإن الحد الأقصى الذي لا يمكن تجاوزه ترموديناميا (الجدار الترموديناميي) هو 34×10^{19} عملية ربط بالجول الواحد.

9 .8. إنسان القرن الحادي والعشرين

كما كنا عرضنا في بداية هذا الفصل، فإن النصف الثاني من القرن الفائت شهد تغيراً أساسياً في مصادر إنتاج المعرفة من جهة، وفي طبيعة هذه المعرفة من جهة أخرى. وقد يرجع السبب الأساسي في هذا التغير إلى التحالف الذي نشأ وترسخ بين رأس المال والعلم. فالجامعات والمعاهد الأكاديمية لم تعد المصدر الوحيد لإنتاج المعرفة. لقد نشأت وتكاثرت بسرعة، مراكز أبحاث و«شركات» علمية هدفها الأساسي إجراء بحوث تطبيقية للوقوف على أسرار الطبيعة، وتسجيل المكتشفات ببراءات اختراع، بغية استثمارها مادياً. وحدث التغير الأكبر في الربع الأخير من القرن الماضي (أي منذ عام 1975 تقريباً)، عندما اتضح أن بإمكان الهندسة الجينية (التي اكتشفت لتوها كتقنية مخبرية)، أن تستثمر على نطاق واسع الانتقال الأفقي للجينات لإنتاج كميات هائلة من بروتينات قننتها الطبيعة تقنيناً صارماً، لتفي فقط بالغرض الذي وجدت من أجله. وبالنظر إلى حاجة المرضى لهذه البروتينات، فلقد بيعت بأثمان باهظة. ونشأت بسرعة مذهلة عشرات«الشركات» العلمية الدوائية، التي وظفت أعداداً كبيرة من الباحثين اللامعين، وبأجور تزيد كثيراً عما تدفعه أفضل الجامعات. ودخلت شركات التقانة الحيوية المنتجة لهذه المواد الدوائية (ودخل معها باحثوها بطبيعة الحال) أسواق الأوراق المالية من أبوابها الواسعة.

وبدهي أن ينجم عن هذا التغير في مصادر إنتاج المعرفة تغير موازٍ في طبيعة هذه المعرفة. فطغيان البحوث التطبيقية، واكبه تراجع في البحوث الأساسية التي لا تتمخض عنها على نحو مباشر نتائج تطبيقية. هذا، على الرغم من أن تاريخ العلوم كلها، يوضح أن العلم التطبيقي كان يأتي بصورة طبيعية كنتيجة للبحث الأساسي، واستمر ذلك إلى أن تم التحالف بين رأس المال والعلم، فتم (بشكل أو بآخر) تجاوز البحث الأساسي جزئياً أو كلياً، ليأخذ مكانه البحث التطبيقي، وذلك خلافاً للقول المأثور إن بحوث اليوم (والمقصود هنا البحوث الأساسية) هي تقانة الغد. وحتى جوائز نوبل في العلوم كلها (وبخاصة في الطب أوالفيزيولوجيا) منحت (وما تزال) إلى باحثين يعملون أساساً في نطاق البحوث التطبيقية. إن القرن الحادي والعشرين سيشهد تعميقاً لهذا الاتجاه.

وقد يعترض البعض قائلاً : ما العيب في أن نخفف من آلام المرضى بمعالجتهم بمواد دوائية بشرية، تم إنتاجها في الأغنام أو الأبقار؟ أين الخطأ في المعالجة الجينية (التي أخفق معظمها حتى الآن وتسبب في موت عدد من المرضى، من بينهم الشاب «جس جيلزنغر» Gess Gilsinger في معهد المعالجة الجينية في جامعة بنسلفانيا الولاياتية في بتسبورغ)، أو في

اللقاحات الجينية، إذا كانت ستمنح الإنسان مناعة دائمة ضد عدد من الأمراض ؟ ولماذا نعترض على استعمال الخلايا الجذعية الجنينية البشرية لشفاء المصابين ببعض أنواع الشلل، أو داء باركنسون، أو الداء السكري المنوط بالأنسولين. . . ؟ أو ليس من الأفضل أن نطعم جياع أفريقية وآسية الأغذية المحورة جينياً عوضاً عن أن نتركهم يموتون جوعاً ؟ إن هذه الأهداف بحد ذاتها هي أهداف نبيلة، ومفعمة بالإنسانية، ولا يوجد أي عيب فيها. إن العيب يكمن في طريقة الوصول إليها. إن هذه الطريقة (التي تعتمد كلياً على الانتقال الأفقي للجينات، وعلى استعمال الأجنة البشرية، وعلى إدخال جينات غريبة في الإرث الجيني للإنسان) هي ببساطة انتهاك صارخ لقوانين الطبيعة (إرادة الله)، وستتناول الأخطار التي ستتأتّى عنها الإنسان والأرض (البيئة)، وما على هذه الأرض من كائنات حيّة. ويتمثل الخطر الأعظم في أن هذا التشويه للإرث الجيني غير قابل للعكس، فأثرها يكاد يكون أبدياً. إن هذه الطريقة (التي تفوح منها رائحة الربح المادي المرضي السريع)، تنطوي على حلول سحرية لعدد من المشكلات الصحية والاجتماعية، ولكن بإيجادها لهذه الحلول تكون قد نثرت بذور كوارث لا حل لها.

وبالنظر إلى أن التقدم العلمي كان وما يزال الأداة الأولى في بناء الحضارات، وعلى اعتبار أنه يستحيل إيقاف هذا التقدم الذي يحركه باستمرار فضول الإنسان ليعرف أكثر فأكثر، فإنه يبدو لي أن صورة القرن الحادي والعشرين ستكون قاتمة، محزنة، ما لم يقسم كل باحث علمي قسماً مماثلاً لما اقترحه السير «جوزيف روتبلات»، ويلتزم فعلياً به (يُرجع إلى الفقرة السابقة)، وما لم يرتفع مستوى وعي الشعوب (بشمالها وجنوبها، وبغنيِّها وفقيرها)، ليدرك إدراكاً معمقاً أبعاد خطر هذا النوع من العلم السيئ (الذي يؤهب إلى حدوث تلوث جيني)، وما لم تصدر الدول كلها تشريعات صارمة، تمنع استغلال هذا النمط من الأبحاث، وتحرم تسخيرها ضد قوانين الطبيعة. إن ذلك سيكون الأمل الوحيد في إيقاف هذا المد الهمجي المرضي.

يمكننا الآن أن نعرض لبعض التصورات الشخصية لما سيشهده القرن الحادي والعشرون، والتي يمكن تلخيصها على النحو التالي(5.9) :

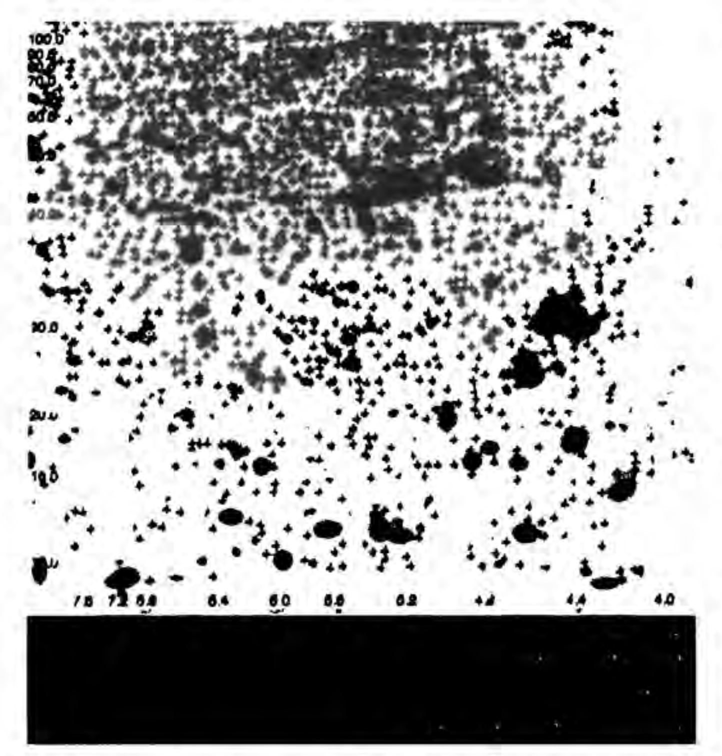
(5.9) يؤدي التقدم العلمي إلى الإجابة على أسئلة، كانت تطرح في حقبة معينة من تاريخ العلم. وما إن يتم إيجاد أجوبة على هذه الأسئلة، حتى تطرح أسئلة أكثر عمقاً ودقة من حيث المضمون، وأبرع ذكاءً. وما من تفسير إلا وبعده تفسير أعمق. والبيولوجيا (في ما يتعلق بهذه الناحية) لم تشذ عن بقية العلوم، بل كانت المراحل التي مر بها هذا العلم (وما تزال) أكثر وضوحاً. ربما لأن جزيئات الحياة (الجزيئات الكبرية)، ببناها ووظائفها، أكثر تعقيداً من بنى المادة اللاحية وتفاعلاتها الكيميائية (نطاقا الفيزياء والكيمياء). ومن ثم فإن حدوث الاختراقات الكبرى في البيولوجيا (الاكتشافات المهمة)، يحتاج إلى تراكم أكبر في المعرفة، وتقدم تقني أدق من حيث تصميم الأجهزة وبنائها، فتأتي المراحل متميزة الواحدة منها عن الأخرى، وتفصل بينها (ولو صنعياً) حدود واضحة. ومما لا لبس فيه أننا نشهد حالياً حقبة الهندسة الجينية والتقانة الحيوية والاستنساخ وهندسة النسج. . . .، وأعقد من هذا وذاك -وكما سنرى بعد قليل- الجينوميات والبروتيوميات.

أمّا في القرن الحادي والعشرين (أو في النصف الأول منه على الأقل)، فسيتحول الاهتمام من الجينات ككينونات مستقلة، يدرس كل جين منها على حدة، إلى دراسة الجينات كمنظومات، أو ما يعرف بعلم الجينوميات، أو قياسياً «الجينوميات» Génomiques، Genomics (من جينوم genome، génome). وتتألف المنظومة الواحدة من آلاف الجينات. وتتوخى هذه الدراسة تعرف آليات تأثر الجينات بعضها مع بعض[152]. وكيف يؤدي فعل هذه المنظومات إلى تشكيل الأعضاء والأجسام الحية، وكيف تختلف سمات الأخ عن أخيه، أو الأم عن ابنتها، وهذه عن شقيقتها. وبمعنى آخر، كيف يُفَسَّرُ النمط الجيني الشخصي للإنسان الواحد إلى نمط ظاهري (أي إلى بروتينات الجسم)، يكون خاصاً بهذا←

152. Collins, F. S. and Jegalian, K. G., Scientific American, **December** (1999) 86 - 91.



←الإنسان دون غيره من بني البشر. كما نشأ في مطلع منذ عامين تقريباً (2000) علم جديد آخر، سمي بالبروتيوميات proteomics، proteomiques[153] (جمع بروتيوم proteome). ويدرس هذا العلم (كالجينوميات) بروتينات الخلية كلها دفعة واحدة لمعرفة بناها ووظائفها وتأثراتها. وغني عن القول أن البروتيوميات أعقد بكثير من الجينوميات بسبب التعقيد الشديد للبروتينات (من حيث البنية والوظيفة) والتغير في المكان والزمن، وبخاصة في ما يتعلق بأشكالها الفراغية ثلاثية الأبعاد، وبسبب هشاشة هذه البنية، وكثرة عدد البروتينات في الخلية الواحدة مايقرب من عشرين ألف بروتين)، مقارنة ببساطة بنية ووظيفة DNA، ADN، وتوحده في الطبيعة، وصلابة الجزيء، وسهولة تضخيم تسلسل ما منه بالتفاعل السلسلي للبوليميراز (PCR). ويعتقد البعض أنه (فيما عدا البروتينات البنيوية، والأنزيمات الثابتة -أنزيمات تدبير المنزل-)، لايوجد للإنسان بروتيوم، يماثل (من حيث الثبات) الجينوم. فبروتيوم الإنسان الذي تناول كوباً من القهوة، يختلف عن بروتيومه قبل تناول هذا الكوب. وتستعمل حالياً في دراسة البروتيوم (والجمع هو البروتيوميات) تقانة الرحلان الكهربائي ذي البعدين (الشكل 9 .43)، حيث يعزل البروتين، ويتم تعرفه. تستعمل، بعد ذلك، تقانة مطيافية الكتلة spectroscopie de masse, mass spectroscopy، حيث تتم حلمهة السلسلة الببتيدية بالتربسين إلى شدف (قطع)، ثم تؤين هذه الشدف بغية تعيين تسلسل الحموض الأمينية لكل شدفة.



الشكل 9 .43. صورة لهلامة رحلان كهربائي ذي بعدين، حيث يهاجر أكثر من 2000 بروتين مختلف. تتم الهجرة في البعد الأول على أساس الشُحن الكهربائية التي يحملها البروتين الواحد (التبئير الكهربائي المتساوي)، وفي البعد الثاني على أساس الكتلة الجزيئية النسبية لكل بروتين وذلك بعد إلغاء تأثير الشُحن بإضافة سلفات دوديسيل الصوديوم (ذات الشحنة الكهربائية السالبة القوية) إلى دارئة الرحلان. إن وجود هذه المادة يجعل البرتينات كلها مشحونة بالشحنة السالبة نفسها، فتهاجر عندئذ وفقاً لكتلها الجزيئية النسبية الخاصة بها. تلون عندئذ البقع (أو العصائب) البروتينية بأزرق الكومازي، أو بنترات الفضة، أو بصباغ متألق، أو توسم بنظير مشع، ثم تحدد كمية كل بروتين منها إما بتقنية منظار الطيف (المطياف) spectroscope، أو بالتصوير الإشعاعي. ويمكن حالياً تحديد كمية بروتين ما إذا كان مقدار هذا البروتين يقارب1 نانوغرام (أو 10^{-9} غرام). إن البروتينات على الهلامة الملونة بالأحمر هي بروتينات معروفة (شاهدة)، والملونة بالأزرق هي بروتينات مجهولة. ويمكن لنسيج ما أن يحوي مايقرب من 20 ألف نوع من البروتين (عنAbbott,1999، المرجع 181، ص. 716).

← وتجدر الإشارة إلى أنه تم مؤخراً اكتشاف نوعين من الأنزيمات، يؤديان دوراً مهماً ومحورياً في عمليات الحياة الأساسية، وهي تكرر (تنسخ)DNA، AND (أي تكاثر الخلايا)، وانتساخ الجينات إلى حموض نووية ريبية رسل، ثم ترجمة هذه الرسل إلى بروتينات (أي تحول النمط الجيني إلى النمط الظاهري)، كما يؤدي نوعا هذه الأنزيمات، وهما : الكيناز المُنَشِّط للبروتينات المولدة للانقسام (MAPK)، والكيناز المشتق من هذا الأخير، والذي يعرف بالكيناز المُنَظِّم بالإشارات الواردة من خارج الخلية (ERK)[154,155]، يؤديان إذاً دوراً أساسياً في نمو الخلايا (أي استقلابها). إن دراسة وظائف هذين النوعين الأنزيميين دراسة معمقة في المكان (أي النمط الخلوي)، وفي الزمن (أي المرحلة الجنينية)، ستسهم إسهاماً كبيراً في فهمنا لآليات تمايز الخلايا والنسج إلى أعضاء وأجهزة محددة، وكيف يعطي النمط الجيني نمطاً ظاهرياً شخصياً، يختلف بين الإخوة والأخوات المتحدرين من أبوين بعينهما. وسيحاول باحثو القرن الحادي والعشرين فهم سيرورات التطور الموجه ذي المعنى، وآليات حدوثه، ودور الجزيئات العضوية واللاعضوية الصغرية في آليات هذا الحدوث. وستُجرى أبحاث معمقة لفهم سيرورات←

153. Abbott, A., Nature **402**, 715 - 720 (1999).
154. Whitmarsh, A. J. and Davis, R.J., Nature **403**, 255 - 256 (2000).
155. Graves, L. M. et al., Nature **403**, 328 - 332 (2000).

←ضبط النوعية (الجودة) التي حدثت في أثناء مسيرة التطور الموجه ذي المعنى، أو تشكل الأنواع. وكذلك فهم آليات ضبط النوعية (الجودة) في أثناء مراحل تكون الجنين، فيتشكل باستمرار فرد يماثل دوماً الأبوين. وستدرس آليات ضبط النوعية في الخلية في أربعة مستويات[156] : **1. ضبط جودة البروتينات بعد تركيبها (بعد الترجمة) من حيث نظامية طي الجزيء البروتيني في الأبعاد الثلاثة (في الفراغ)، ودور البروتينات الوصيفة chaperones في ذلك (كبروتينات الصدمة الحرارية أو بروتينات الكرب)، وتقويض البروتينات التي لا يتم طيها طياً سوياً في الأبعاد الثلاثة[157] بوساطة البروتيازومات Proteosomes التي لكل منها بنية النفق. يُدخل البروتين، بعد وسمه للموت بجزيئات اليوبيكويتين ubiquitin . وتوسم البروتينات المشؤومة الحظ للموت إذا ماوقعت عموماً ضمن الصفوف الثلاثة التالية: أ- البروتينات التي أصابها البلى. ب- البروتينات التي انثنت على نفسها فراغياً انثناءً خاطئاً. جـ- البروتينات الطافرة (التي أدخلت في تركيبها حمضاً أمينياً واحداً أو أكثر على نحو خاطئ). (يرجع إلى الشكل12.9-ج) 2. ضبط نوعية (جودة) البروتينات التي سيتم إفرازها في مسارات إفرازية محددة تماماً، وفهم حقيقة المعايير الصارمة التي تستعملها الخلية في هذه السبل الإفرازية [158] . 3. ضبط النوعية في أثناء عملية ترجمة الحمض النووي الريبي الرسيل (mRNA ، RNAm) إلى بروتين معين[159] . 4.ضبط نوعية (جودة) تصليح الكسور التي تصيب حلزون DNA، AND [160] . فبروتينات الكرب والبروتيازومات، كالجين P53 (وما يماثلهما من حيث الوظيفة) والتيلوميراز، هي كلها أجزاء من جهاز ضبطَ الجودة في الخلية. وستجرى في القرن الحادي والعشرين أبحاث لبناء (لتركيب) خلية حية. ولقد بينت الأبحاث التي أجريت حديثاً [161] أن الحد الأدنى لعدد الجينات الضروري لحياة أبسط الكائنات الحية الحالية من حيث البنية والوظيفة (وهو بدائي نواة، يعرف بالمفطورة التناسلية *Mycoplasma genitalium*) هو 256 جيناً. ويرى بعض الباحثين أنه إذا تم تركيب هذه الجينات (أو عزل كل منها، ثم جمع بعضها مع بعض)، فقد تستطيع هذه الجينات أن تكوّن حولها (وهي في الوسط الأمثل) سيتوبلازما وغشاء، فتصبح خلية حية. ولكن على الرغم من التبسيط الشديد لطبيعة هذه التوجهات وأهدافها، وبغض النظر عن نجاح أو إخفاق هذه الأبحاث، يمكننا أن نتساءل هل الحياة هي مجرد مجموعة من الجينات [162] ؟ إن أمثال هذه الأبحاث (شأنها شأن الإنفاق الهائل على التسلح، وتطوير الأسلحة في الوقت الذي يموت فيها ملايين البشر جوعاً ومرضاً، وشأنها أيضاً شأن المعالجة الجينية مثلاً غير المتاحة ـ بسبب كلفتها العالية ـ إلا لأعداد قليلة من الناس)، إن أمثال هذه الأبحاث ستتسبب (في حال نجاحها) في إعادة صياغتنا لمفاهيمنا عن طبيعة الحياة، وفي مراجعة حقيقة علاقاتنا بالكائنات الحية، وبالحياة نفسها. وعلى الهيئات التي تعني بعلاقة الإيمان بالعلم أن تدرك خطورة النتائج التي سيتمخض عنها بناء حياة صنعية (تركيبية)، فتساير في عمق معارفها للعلم تقدم العلم نفسه، فتكون لها آراؤها الواضحة في نتائج هذه الأبحاث، وتضع نفسها في موضع فاعل، وليس في موضع منفعل. وعلى أية حال، علينا ألاّ نأخذ دائماً بمبدأ الاختزالية Reductionism ، Réductionism ، وبخاصة في البيولوجيا. ذلك أننا إذا استطردنا بمنطق مبدأ الاختزالية، فإننا سنكتشف أن الفيروسات هي أول الكائنات الحية التي ظهرت على الأرض. وهذا، بطبيعة الحال، خطأ فادح، لأن البكتيريات البدئية هي أول الكائنات الحية التي أوجدها التطور الموجه ذو المعنى. أما الفيروسات فقد ظهرت بعد سيادة بدائيات النوى (البكتيريات) على الأرض.**

وتجدر الإشارة إلى أنه تمت مؤخراً سَلسَلة جينوم ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster* (الشكل 9. 44-أ، يُرجع أيضاً إلى الشكل 8. 21)، وكان قد سبق ذلك سلسلة جينات كائنين حيين آخرين من عديدات الخلايا الحيوانية، هما الخميرة الجعوية *Saccharomyces cerevisiae*، والدودة الخيطية *Caenorhabtidis elegans* (الشكل 9. 44-ب). كما تمت (من النباتات) سَلسَلة نباتين مزهرين، هما «العربية» *Arabidopsis thaliana*. والأرُز، وذلك حتى نهاية العام *2000* . وسبق أن أشرنا إلى أن الباحثين أنجزوا سَلسَلة عدد من الخلايا بدائية النوى (البكتيريات أو الجراثيم)، وكذلك المصورة المنجلية *Plasmodium falciparum*. أما لماذا تنفق أموال طائلة، وتبذل جهود مضنية، لسَلسَلة جينومات كائنات حية بعيدة عن←

156. Hurtley, S. M., Science **286** , 1881(1999).
157. Wickner , S. et al., Science **286**, 1888 - 1893 (1999).
158. Ellgarrd. L. et al., Science **286**, 1882 - 1888 (1999).
159. Ibba , M. and S?ll, D. , Science **286** , 1893 - 1897 (1999) .
160. Lindahl, T. and Wood, R. D., Science **286**, 2165 - 2169 (1999).
161. Hutchison III , C. A. et al., Science **286**, 2165 - 2169 (1999).
162. Cho, M. K. et al., Science **286**, 2087 - 2090 (1999).







الشـــكل 9 . 44. ثـلاث صـــور بالمجـهـــر الإلكـــتروني التفرّسـي (الماسـح) لذبــابة الفاكــهــة *Drosophila melanoga* (A) [عن **442**.P ، (2000) 442-443 ,**404** Hodgkin, J., Nature] (وتجدر الإشارة إلى أنه أمكن إحداث إصابة في هذه الذبابة تشبه ظاهرياً داء باركنسون الذي يصيب الإنسان) ، وللدودة الخيطية *Cenorhabtidis elegans* (B)، توضح إسكات mRNA ، ARNm (البرتقالي) ، أي تدركه وعدم تركيبه البروتين الذي يُرَمِّزه ، وذلك بتقنية اعتراض هذا الحمض (RNAi ، من RNA interference) بوساطة جزيء من RNA مزدوج الشريطة و مضاد المعنى antisense ، ولايزيد طوله عن 25 نكليوتيداً (أي جزيء مزدوج الشريطة ومتمم لجزيء mRNA ، ARNm الذي سيترجم) . وتعرف هذه التقنية بتقنية الإسـكات الجيني في مرحلة مـا بعد الانتســـاخ post-transcriptional gene silencing (PTGS) [عن .P.805 (2000) 804-808 , **404** Gura, T., Nature] ، وصورة مصغرة لنبات «العربية» *Arabidopsis thaliana* (C) الذي يبلغ طوله ما بين 15 و 20 سنتي متراً، وأخذ اسمه من المنطقة العربية الرعوية .

أولاً. لن يطرأ أي تغير ملحوظ على بنية جسم الإنسان، أو على حجم دماغه، أو مستوى ذكائه. وقد تزداد أمراض فرط السمنة في بلدان الشمال، وأمراض المناعة الذاتية، وتتراجع الأمراض المعدية (الخمجية) في تلك البلدان. وقد يكون تزايد وتيرة أمراض المناعة الذاتية نتيجة انحسار الأمراض الإنتانية في بلدان الشمال بسبب ارتفاع مستوى الرعاية الصحية والنظافة العامة. كما سيشهد هذا القرن (نتيجة النقل الأفقي للجينات بالهندسة الجينية) ظهور أمراض جديدة، وزيادة في فُوَّعة (ضراوة) الأنواع الحالية من العوامل المرضة. وستتعاظم مقاومة هذه العوامل المرضة للمضادات الحيوية. وقد يقترب العلم من التوصل إلى فهم معمق لسيرورة التسرطن، دون التوصل إلى علاج جذري لهذا المرض.

ثانياً. سيزداد سوء الأحوال المعاشية لشعوب الجنوب، وستسهم الطبيعة (نتيجة إساءة الإنسان لها) في تفاقم تردي هذه الظروف المعاشية بوساطة التصحر، وبارتفاع درجة الحرارة الإجمالية للأرض، وبالفيضانات التي سترافق ذلك. وستجد بلدان الشمال نفسها أمام فيض من الهجرة البشرية (المشروعة وغير المشروعة) لشعوب الجنوب باتجاهها.

←الإنسان، فلأن هذه الكائنات تحوي جينات لها ما يماثلها في الإنسان، ولصغر جينوم هذه الكائنات، فتغدو السَلسَلة سهلة نسبياً، وربما يكون هذا السبب الثاني هو الحافز الرئيس لإجراء الدراسة. أما السبب الثالث (وهو بدهي) فيتمثل باكتساب المعرفة العلمية وتحسين الأداء التقني. وتجدر الإشارة إلى أنه تمت حتى هذا التاريخ (حزيران -يونيه - 2003) سلسلة عدد كبير جداً من الكائنات الحيوانية والنباتية. فالتجهيزات موجودة، ويجب أن لا تتوقف ماكنات السلسلة عن العمل.

ولقد تبين أن جينوم ذبابة الفاكهة (الذي يضم 5 صبغيات فقط)، يتألف من 180 ميغا أساس megabase (الميغا تساوي المليون، أو10^6)، ثلثاه كروماتين حقيقي euchromatin، euchromatine (أي 120 ميغا أساس)، وثلثه الآخر كروماتين غيري heterochromatin، hétéchromatin. ويتألف هذا الكروماتين الغيري (الموجود في حيقيقات النوى كلها) من تسَلسُلات متكررة هي نفسها مئات، بل آلاف المرات، واعتُقد سابقاً أن الكروماتين الغيري خامل من حيث التعبير. لكن خلافاً للتوقعات كافة، تبين وجود قرابة ستة جينات وظيفية في الكروماتين الغيري لذبابة الفاكهة. وتشير الدراسات التي أجريت حتى الآن (السَلسَلة، وتفسيرات نتائج هذه السَلسَلة، وبرمجيات التنبؤ) إلى أن عدد جينات ذبابة الفاكهة يبلغ 600 13 جين فقط، وأتت هذه النتيجة الأولية مفاجئة، لأن الباحثين كانوا يقدرون عدد هذه الجينات بأكثر من ذلك. إن هذه الذبابة أضحت الحيوان المفضل لدى الوراثيين منذ عام 1910, عندما استعملها لأول مرة في دراساته الوراثية «توماس هنت مورغان» Thomas Hunt Morgan (1866 ـ 1945)، الذي نال جائزة نوبل عام 1933. كما تبين أن الذبابة تحوي 177 جيناً من مجموع الجينات المسببة للأمراض الوراثية في الإنسان، وعددها 289 جيناً. وتمثلت المفاجأة الأخرى في أن ذبابة الفاكهة تحتوي على ما يقارب من 992 2 جيناً (22 في المئة من الجينوم)، لم تعرف لها أي وظيفة حتى نهاية 2002، وليس لها ظاهرياً ما يماثلها في الكائنات الحية الأخرى. كما أن الباحثين يستعملون حالياً ذبابة الفاكهة كطراز لدراسة داء باركنسون، وذلك بعد أن تمكنوا من إحداث هذا المرض فيها [انظر Haas,C. And Kahle, P. J., Nature **404** , 341-343(2000)]. أما في ما يتعلق بالخميرة الجعوية *Saccharomyces cerevisiae*، وبالنظر إلى صغر جينومها (12 ميغا أساس، أصغر 250 مرة من جينوم الإنسان) فلقد استكملت سَلسَلتها في آذار (مارس) عام 1996. وتحوي صبغيات المجموعة الفردانية لهذه الخميرة (وعددها 16 صبغياً) 000 6جين، وتشكل هذه الجينات 70 في المئة من كامل الجينوم.

وتَعَدُّ الدودة الخيطية *Caenorhabtidis elegans* (يُرجع إلى الشكل 9. 44 ـ B) عديد الخلايا الوحيد الذي تم فيه تعيين مصير كل خلية من خلاياه البالغ عددها 959 خلية فقط، وذلك في ما يتعلق بالتنامي الجنيني لهذه الدودة التي تعيش في التربة، ولا يزيد طولها عن ميلي متر واحد. ويبلغ حجم جينوم هذه الدورة الخيطية 97 ميغا أساس، وتحوي ما يزيد على 000 19 جين. أما عدد جينات النبات المزهر (*Arabidopsis thaliana*، الشكل 9. 44 ـ C)، فيبلغ 600 27 جين، تشكل (مع الكروماتين الغيري) خمسة صبغيات كثيفة الخيوط. وتعرف حالياً جينات مئات الكائنات الحية من بدائيات النوى وحقيقيات النوى (وحيدات الخلايا وعديداتها).

يمكن الاستنتاج من هذه الدراسة [انظر : Hodgkin , J., Nature **404**.442-443(2000)] أن ذبابة الفاكهة والخميرة الجعوية والدودة الخيطية تتشارك 000 3 جين، تُرَمِّز (تكوِّد) البروتينات الأساسية الضرورية لبُقيا (البقاء على قيد الحياة) خلايا عديدات الخلايا كافة : بنيةً واستقلاباً ونمواً. كما أن الخميرة الجعوية تفتقر إلى 200 جين توجد في كل من ذبابة الفاكهة والدودة الخيطية. كما يمكن الاستنتاج أن عدد الجينات لايُعَدُّ بحد ذاته معياراً لتعقد البنية، ودرجة تطور الكائن الحي. فعدد جينات الدودة الخيطية آنفة الذكر، يفوق عدد جينات ذبابة الفاكهة مقدار 400 5 جين تقريباً. وبطبيعة الحال، فإن الفرق في مستويات التعضي، وعدد الخلايا وأنماطها، ودرجة التطور، كبير جداً بين هذين الكائنين.

ثالثاً. ستشهد علوم البيولوجيا الجزيئية (والجينوميات والبروتيوميات وعلاقة الجينات بالسلوك (الدماغ) والمعلوماتية الحيوية والتقانة الحيوية على وجه التخصيص). والمعلوماتية عامة، وعلم الفضاء تقدماً، يفوق التقدم الذي سيصيب العلوم الأخرى. وقد تُبنى حواسيب عملاقة المقدرة أساسها DNA، ADN. وسيحاول إنسان القرن الحادي والعشرين البحث عن حياة ذكية خارج الأرض، ولكن لن يجدها. وقد يعمد إلى نهب بعض الثروات المعدنية لعدد من كواكب المجموعة الشمسية. **أمّا في ما يتعلق بالعلوم البيولوجية العامة، فستشهد تقدماً يتناول فهم العلاقة بين الجينات والمقدرة العامة للإدراك، أو ما يعرف بالذكاء العام[163] وفهم البيولوجيا العصبية للإدراك[164] وكذلك العلاقة بين تكون الأفراد والتطور[165] والمعاملات البيولوجية الخلوية [166-168] (فهم آلية حدوث وظيفة خلوية ما على مستوى الخلية ككل، وليس فقط على المستوى الجزيئي، (يرجع إلى الشكل 9. 43)، وفي دراسة الجينات كمنظومات (أو الجينوميات كما سبق أن أشرنا) [169، 170]، حيث تتحكم كل منظومة منها بوظيفة خلوية محددة، أو بوظيفة نسيج معين، أو عضو بعينه. وستحتل البروتيوميات موقعاً محورياً في أبحاث القرن الحادي والعشرين، وستشكل حقبة ما بعد الجينوميات. فتصبح البروتيوميات (إذا ما أمكن دراستها بوساطة المعلوماتية الحيوية) امتداداً للجينوميات، واستكمالاً لها. أي أنه سيتم (ربما خلال عدة قرون قادمة) فهم سيرورات تكون النمط الظاهري للإنسان بدءاً من النمط الجيني. كما ستُجرى أبحاث لفهم آليات ضبط النوعية (الجودة) في تحول النمط الجيني إلى النمط الظاهري، وذلك على مستوى تكون النوع (أي لماذا يأتي أفراد البشر كافة متماثلين في الخصائص والصفات)، وعلى مستوى تشكل الفرد (أي تَكوّن أو تنامي الجنين)، بحيث تأتي الأبناء باستمرار مماثلة للآباء. وبمعنى آخر، ستُجرى أبحاث لفهم سيرورات ضبط النوعية (الجودة) في العلاقة بين نشوء النوع (التطور الموجه ذو المعنى) وبين تشكل الفرد (التنامي الجنيني). ولقد رغبنا في أن نميز (عند حديثنا عن التطور الموجه والبيولوجيا) بين ضبط النوعية (الجودة)، الذي يجب أن يتوّج بظهور الإنسان في مفهوم التطور الموجه والبيولوجيا، وبين ضبط الجودة في مفهوم الابتكار البشري ومعاييره. ففي التطور الموجه ذي المعنى، وكذلك في البيولوجيا، توجد درجة واحدة فقط من الجودة (وهي مثلى دائماً، أي «معدومة العيب» zero defaut) نسميها النوعية. أما غير ذلك، فهو غياب الجودة كلياً (أي انتفاء النوعية، أو ما يعرف باللانوعية)، ومن ثم عدم وجود أي جودة على الاطلاق. فالجودة موجودة أو غير موجودة، ولا توجد حالات وسطية بين الوجود وعدمه. ونرى أن هذا المفهوم للنوعية (الجودة) هو أساس التطور الموجه ذي المعني من جهة، وأساس البيولوجيا ونشوء حياة ذكية متفردة على الأرض من جهة أخرى، يتوجها ظهور الإنسان. أما فاعليات الإنسان الابداعية، فتبتكر للخاصة الواحدة مستويات متباينة من الجودة، ولا تمتلك إمكان ابتكار الشيء (في أعلى درجات كماله) دفعة واحدة. فكل ابتكار استنبطه الإنسان مر بمراحل عديدة: من جودة أدنى مرتبة إلى جودة أعلى مستوى.**

163. Plomin , R. Nature (**suppliment**) **402/6761, C 25** - C 29 (1999).
164. Nichols, J. and Newsome, W.T., Nature (**suppliment) 402/6761, C35 - C 38** (1999).
165. Holland, P. W. H., Nature (**suppliment) 402/6761, C 41 - C 44** (1999).
166. Hartwell, L. H. et al., Nature **(suppliment) 402/6761, C 47 - C 52** (1999).
167. Fillingame, R. H., Science **286**, 1687 - 1688 (1999).
168. Stock, D. et al., Science **286** , 1700 - 1705 (1999).
169. Hieter, Ph., Nature **402**, 362 - 363 (1999).
170. Rose-Macdonald , P. et al., Nature **402**, 413 - 418 (1999).

رابعاً. بالنظر إلى تقدم الأتمتة، وسهولة الاتصالات، ودخول شبكة «الإنترنت» كعنصر أساسي في نقل المعرفة الجاهزة إلى العالم كله تقريباً، وتخاطب الناس فيما بينهم عبر هذه الشبكة، فإن العولَمة (وبسبب وقوف قوة النقد وراءها)، قد تنجح كنظام اقتصادي في بعض بلدان الجنوب الأكثر فقراً، وفي إنكلترا وكندا كمفهوم أمريكي لإعادة تنظيم اقتصاد العالم، ولكنها لن تشهد الرواج نفسه في أوروبة واليابان، (ناهيك عن الصين). فالشعوب ترفض دائماً أن تتخلى عن هويتها الشخصية. وبطبيعة الحال، فإن الأتمتة ستؤدي إلى تراجع المواهب الفردية، والملكات الشخصية الإبداعية (في ما يتعلق بالرسم والموسيقى والآداب وضروب الإبداع الفردي الأخرى). كما سيتعمق الباحثون بأبحاث الذكاء الصنعي للإفادة منها مثلاً في تطوير حواسيب عملاقة. وسيُدرس حتماً بتفصيل معمق نظام ضبط الجودة في الخلية.

خامساً. كما كنا عرضنا منذ قليل، فإن بلدان الشمال ستزداد غنى في القرن الحادي والعشرين، في حين أنَّ بلدان الجنوب ستزداد فقراً. ففي عام 1992 نشر برنامج التنمية التابع للأمم المتحدة تقريراً، يبين فيه أن عشرين في المئة من سكان العالم تملك 82.4 في المئة من ثروات العالم. وأن عشرين في المئة من سكان العالم الأكثر فقراً تمتلك 1.4 في المئة فقط من هذه الثروات، ليتبقى لستين في المئة من سكان العالم 16.2 في المئة من ثروات العالم. أي إن أكثر من نصف سكان العالم، يعيشون على حافة فقر غير مرئي. وبدهي أن يسبب القحط والمرض والفياضانات واستعمال النباتات المحورة جينياً(6.9)، وكذلك العولَمة، تفاقم هذا الفقر. وخلاصة القول: أن الصورة التي سترسمها عقود القرن الحادي والعشرين ستكون إنسانياً قاتمة ومحزنة. **وقد يحدث أن شباباً من الشمال سيضعون أمتعتهم على ظهورهم، ويممون شطر بعض بلدان الجنوب، ليس من أجل أن يتذوقوا متعة الفقر، بل ليشدوا على أيدي أقرانهم من الجنوب، كي يثبتوا أقداهم في الأرض، ويرسخوا جذورهم فيها، ويحنوا عليها كي تشعرهم بكرامتهم، وتذكرهم بإنسانيتهم، ولتجعلهم يستمدون من الإيمان قوَّتَهم** [171]. **فهم يملكون التفسير الصحيح للتطور الموجه ذي المعنى** [172، 173]**، الذي سيكون (ومع الكون) مجرداً من المعنى لولا ظهور الإنسان.**

(6.9) لقد غدت الهندسة الجينية (التي سادت على بيولوجيا الربع الأخير من القرن العشرين سيادة مطلقة) كابوساً يجثم على صدر الإنسان والأرض بعد أن كانت الحلم الذهبي لكل من عمل بها، أو اطَّلع عليها. لقد حولت الآمال إلى سراب خادع، نأمل ألاَّ يستمر طويلاً. إنه سراب «بدوي الجبل» الذي نتمناه أن لا يكون سراباً كارثياً مظلماً:

«حَـنَا الســرابُ عـلى قلبي يُخَادعُـهُ ... بـالوَهـمْ مِـنْ نَشْوَةِ السُقْيَا وَ يُغرِيــهِ
فَكَـيْفَ رُحْـتُ ولـي عِـلْـمٌ بباطِلـهِ ... أهـوى السَّرَابَ وأرْجُـوهُ وَ أُغْلِيــهِ
وَيْـحَ السراب عـلى الصَحْراءِ تُسلِمُـهُ ... رمـالُها السُّـمْرُ مـن تِيـهٍ إلـى تِيـهِ
يُـزَوِّرُ المـاءَ للسُّـقْيـا وَ لَهْفَتَــهُ ... حَرَّى إلــى مَنْهَلٍ يَحنُو فيسـقيـهِ
أَيَّــامُهُ خُـــدَعٌ للركْـبِ ضاحِـكَـةٌ ... سُـخْـراً وللعــدمِ القاسي لَياليـهِ
صَرْعاهُ لَو عَرَفُوا الأسْـرارَ ما جَزِعُـوا ... مِمَّـا يُعـَانُـونَ بَـلْ مِمَّــا يُعانيــهِ»

«بدوي الجبل»، «السراب المظلم»

171. Larson, E. J. and Witham, L., Scientific American , **September** (1999) , 88 - 93.
172. Joyce, G. F., Scientific American, **December (1992) , 48 - 55.**
173. Rebek, Jr. J., Scientific American, **July (1994) , 34 - 40.**



9.9. سهم الزمن

لقد رأينا أنه قد يكون من المفيد أن نختتم هذا الكتاب بفقرة تعالج باختصار سهم أوموضوع «الزمن». ففي عام 1956 ـ1957 أخرج السويدي «إنغمار برغمان» Ingmar Bergman فيلماً، وسمه بالعنوان «الجولة السابعة» بالإنكليزية The Seventh Ring (أو«الخاتمَ السابع» بالفرنسية Le Septième Sceau)، يعالج فيه موضوع الزمن وعلاقته بالموت. وكانت من أبرز مشاهد هذا الفيلم«الفارس» يلعب الشطرنج مع«الموت»، عله يغلبه ويرجيء المحتوم، أو ما لا راد له (الشكل 9. 45). فالموت ينهي الزمن في ما يتعلق بالكائن الحي، في حين أن الحياة تستهل الزمن في بدء بداية تكون الفرد. ولكن«ما هو الزمن»؟ سؤال طرحه لأول مرة «القديس أوغسطين» (354ـ430)، (يُرجع إلى المقدمة



الشكل 9. 45. مشهد من الفيلم السينمائي « الجولة السابعة » للمخرج السويدي « انغمار برغمان » Ingmar Bergman ، ينازل فيه الفارسُ الموتَ بوساطة لعبة الشطرنج ، عله يتغلب عليه ، ويرجئ المحتوم (الموت) الذي هو العدو الأخير للزمن (عن Gonzalez-Crussi,1999، المرجع 174 ، ص. 723) .

والمرجع 3)، وعالجه بعمق في كتابه «الاعترافات»، الكتاب الحادي عشر. ولكن«ما الموت»؟ إنه هذا التوقف الإلزامي، نقطة اللالقاء ، إن لم يكن (في ما يتعلق بالإيمان والفلسفة) نقطة الانطلاق في رحلة البحث عن طبيعة الزمن. ومما لا لبس فيه، أن هذا اللاهوتي العالم، وبمحاولته التوفيق بين الفلسفة الأفلاطونية والعقيدة المسيحية، شرَّع نوافذَ الفكر على الموضوعات كافة. ويمكن القول: إن إنسان القرن الحادي والعشرين لم يتعرف الزمن أكثر مما تعرفه «القديس أوغسطين» في القرن الخامس. ويقول هذا الراهب الكاثوليكي : «عندما لا يسألني أحد، فإنني أعرف الزمن. ولكن ما إن يأتي أحدهم ليسألني عن الزمن، وأبدأ بمحاولة الشرح له، حتى يغيب عني كل ما كنت أعرفه». وكان هذا الباحث يرى أنه من الخطأ السؤال عما إذا كان الزمن موجوداً قبل أن يخلق الله العالم، لأن الله خارج الزمن، وعندما خلق الله العالم خلق الزمن. ومع أن نسبية «آينشتاين» أجهزت على مفهوم الزمن المطلق، وجعلته نسبياً (يُرجع إلى الحاشية 2. 3 ، علماً بأن نسبية الزمن وعدم كونه مطلقاً، كما سنرى بعد قليل، وردت حقاً في دراسات أرسطو، قبل قرابة 230 2 عاماً

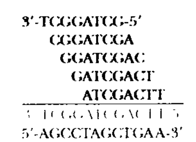
من نسبية «آينشتاين»). مع هذا، فإن سهم (مفهوم) الزمن جدير دائماً بالتأمل والتمحيص، ذلك أنه بحق أعقد سؤال يطرح على المستويين الفلسفي والعلمي.

فهل بدأ الزمن في فترة الانفجار الأعظم في علم الحيوان (يُرجع إلى الحاشية 8.5)، الذي أدى في الزمن الكمبري وقبل 550 مليون عام إلى وضع تصاميم المخططات الأساسية لحيوانات اليوم؟ أم أنه بدأ منذ ثلاثة ملايين عام، عندما ظهر الإنسان البدائي؟ هل الزمن هو لحظة أول كائن حي على الأرض قبل أكثر من أربعة مليارات عام؟ أم هو لحظة حدوث الانفجار الأعظم (قبل 13.4 ± 1.6 مليار عام)، وبدء ولادة القوى الطبيعية الأربع؟ هل الزمن هو فعلاً كما عرَّفه«القديس أوغسطين»؟

إن الزمن، في ما يتعلق بتعاليم أرسطو Aristotle (384 ـ 322 قبل الميلاد) هو شيء يخص شيئاً آخر[174] (فهو إذاً نسبي وليس مطلقاً). ولكن ما هو هذا الشيء الآخر؟ هل هو الحركة وفقاً لفلسفة«أرسطو»؟ أم هو المكان النسبي وفقاً لـثـقـالـة«نـيـوتـن»، الـتـي ألـغـت مـفـهوم المكان المطلق، تماماً كما ألغت تعاليم أرسطو، وبعد ذلك بأكثر من ألفي عام نسبية«آينشتاين» مفهوم الزمن المطلق؟ أم هو الأبدية وفقاً للفيلسوف الروماني «أفلوطين» Plotinus (205 ـ 270) الذي ترأس موضوع تحديث فلسفة «أفلاطون» Plato (428 ـ 347 قبل الميلاد)، تلميذ«سقراط» Socrates (470 ـ 388 قبل الميلاد)، صاحب كتاب «الجمهورية» (ومن المعروف أن«سقراط» و«أفلاطون» و«أرسطو» Aristotle قد وضعوا أسس الفلسفة اليونانية، ومن ثم الثقافة الغربية). أم أن هذا الشيء الآخر، كما يقول «القديس أوغسطين»، هو العلاقة بين سقوط النفس البشرية والله؟ أم أنه سرعة الضوء في ما يتعلق ببعض فيزيائيي اليوم؟ أم أنه DNA، ADN، أو RNA، ARN، أو البروتينات، في ما يتعلق ببعض البيولوجيين الجزيئيين للقرنين العشرين والحادي والعشرين؟ هل هذا الشيء الآخر هو الحاسوب أو «الإنترنت» في ما يتعلق بالمعلوماتيين؟ هل هذا الشيء الآخر هو الأنتروبية التي تعتبر أفضل مقياس للزمن؟ (يُرجع إلى الحاشية 1 وإلى الفقرة 2.3).

يمكننا أن نسير في الزمن وفقاً لمعايير ومقاييس مختلفة. فالانفجار الأعظم حدث في اللحظة صفر من عمر الكون (أي في يوم لا أمس له)، ومن هذا الانفجار تشكل المكان والزمن. وفي أجزاء ضئيلة من الثانية الأولى فقط، وُلدت القوى الطبيعية الأربع، وتكونت المادة، وأصبح حجم الكون الوليد القابل للرصد الذي يشكل5% فقط مما هو موجود، مساو لحجم المنظومة الشمسية الحالية (يرجع إلى الجدول 2.1). وعندما أصبح عمر الكون ثلاثة آلاف عام، تكونت ذرات العناصر. وفي إثر مرور مليار عام على ولادة الكون، تكونت المجرات، وأصبح حجم الكون يقارب حجمه الحالي. أما المجموعة الشمسية (بما في ذلك الأرض)، فتكونت في إثر مرور قرابة 8.8 مليار عام على بدء الزمن (حدوث الانفجار الأعظم)، أن عمرها الآن أصبح 4.6 مليار عام. ونشأت أول حياة على سطح الأرض (عالم RNA، ARN) قبل 4.2 مليار عام تقريباً. وظهر عالم DNA، ADN ـ عالمنا الحالي ـ قبل 3.7 مليار عام. وانفصل عالم الحيوان عن عالم النبات قبل 1.2 مليار عام (أي أن بدائيات النوى ـ البكتيريات ـ قطنت بمفردها الأرض قرابة 2.5 مليار عام). وحدث الانفجار الأعظم في عالم الحيوان (حيث تكونت تصاميم مخططات أجسام حيوانات اليوم) في العصر الكمبري قبل 550 مليون عام. وظهر الإنسان البدائي قبل ثلاثة ملايين عام. وإذا كانت أعمارنا تقاس بعشرات السنين، فإن سيرورات نشوء الكون القابل للرصد تمت (كما سبق أن عرضنا) في أجزاء ضئيلة من الثانية، وتحدث حالياً في أجسامنا

174. Gonzalez- Crussi, F., Nature **402** , 723 - 724 (1999).



(وفي خلال زمن مماثل تقريباً) التفاعلات البيولوجية (بما في ذلك النقل العصبي) التي تتم في أثناء أقل من عشرة أجزاء من مليون مليار جزء من الثانية (أي قرابة 7 × 10^{-15} ثانية، أو 7 فمتوثانية femtosecond، femtoseconde).

إن المحور الأساسي لهذا الكتاب هو البرهان على أن نشوء الكون وتطوره كان موجهاً، ويتم وفق منطق ذي معنى، ويسير باستمرار من الأبسط إلى الأعقد من حيث البنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية من حيث الوظيفة. وأن هذا التطور الموجه كان يهدف إلى نشوء حياة ذكية على الأرض، وأن القوى الطبيعية الأربع والقوى التكافؤية واللاتكافؤية هي المسؤولة عن الانتقاء الطبيعي الموجّه، محرك التطور، الذي تُوِّج بظهور الأنسان، فأعطى للكون وللتطور معنى حقيقياً.

كما كنا عرضنا غير مرة، فإن حدوث الانفجار الأعظم كان خرقاً فاضحاً لقوانين الطبيعة الفيزيائية. فأبعاد النقطة التي حدث فيها هذا الانفجار أقل من طول (بلانك)، الجدار الأول الذي لا يمكن تخطيه فيزيائياً، وإلا فإن الجسم الذي تقل أبعاده عن طول (بلانك)، يتحول إلى ثقب طاقي أسود، يبتلع نفسه. وكانت درجة حرارة النقطة التي حدث فيها هذا الانفجار، تفوق درجة حرارة (بلانك)، الجدار الفيزيائي الثاني الذي لا يمكن تخطيه ترموديناميا. كما أن كثافة هذه النقطة كانت أعلى بكثير من كثافة أي جسم نتروني، حيث يتم اختراق مبدأي الاستبعاد لـ (باولي) والارتياب لـ(هايزنبرغ). فكثافة هذه النقطة تشكل خروجاً عن الجدار الفيزيائي الثالث. كما أن التطور الموجه ذا المعنى الذي أعقب الانفجار الأعظم سار بخلاف الأنتروبية، والمبدأ الثاني للترموديناميك. وهذا هو الجدار الفيزيائي الرابع الذي تم تخطيه. وسار التطور الموجه بعكس ظاهرة الشوش ايضاً. وهذا هو الجدار الخامس الذي تم تجاوزه. كما أن التطور الموجه ذا المعنى لعناصر الكون (المجرات وتعنقداتها ـ حشودها ـ، بما في ذلك نجوم هذه المجرات وكواكبها) أوجد المادة السوداء الباردة والطاقة المعتمة اللتين تشكلان 95 % من الوجود واللتان، تجعل من أوميغا (نسبة الطاقة التثاقلية لعناصر الكون إلى الطاقة الحركية، أي الطاقة المحتواة في حركة المادة في أثناء توسع الكون) تساوي الواحد، أو قريبة منه، بتقريب قدره جزء واحد من مليار مليار جزء، فلا ينسحق الكون على نفسه معانياً ارتصاصاً أعظم (حيث تكون أوميغا أكبر من واحد بجزء من مليار مليار جزء)، ولا ينفلت، فتهرب المجرات، وتنأى، وتتلاشى مادة الكون في كثافة خفيضة جداً (حيث تكون أوميغا أقل من واحد بجزء من مليار مليار جزء). كما أن المادة السوداء الباردة والطاقة المعتمة، تقدمان التوفيق الصحيح المقبول بين الضوء، أي الفوتونات عديمة الكتلة، وبين المادة نفسها كما نعرفها.

والتطور الموجه ذو المعنى أوجد الثوابت الطبيعية (قيمة الثقالة والقوى الطبيعية الثلاث الأخرى، وشحنة الإلكترون وكتلته، وشحنة البروتون وكتلته، وسرعة الضوء. . . ومئات غيرها)، متوائمة ومتكاملة، بحيث تكون أوميغا مساوية دائماً للواحد، وبحيث يؤدي هذا التطور الموجه ذو المعنى إلى نشوء حياة ذكية على الأرض، ويكون الإنسان خليفة الله فيها. ونعود لنؤكد من جديد أن الانتقاء الطبيعي (محرك تطور الكائنات الحية كلها) كان موجهاً، لا مصادفة في حدوثه، لأنه كان حصيلة فعل القوى التكافؤية واللاتكافؤية، التي انبثقت عن القوى الطبيعية الأربع (إرادة الله)، والتي تقدم تفسيراً أنيقاً لهذا التطور، وذلك على المستوى الجزيئي، خلافاً لمفهوم التنافس الداروينى الذي ما يزال (من حيث البرهان العملي) غامضاً. إن التنافس (أداة الانتقاء الطبيعي الموجه) يحدث على مستوى الذرات والجزيئات وفقاً لقوى الطبيعة الثماني. فالذرات والجزيئات الأفضل أداءً وكفايةً (أي التي لها ثابتة ترابط Ka مرتفعة – انظر الحاشية 4.8)، تسود على الذرات الأقل أداءً وكفايةً. (أي التي لها Ka منخفضة) وبهذا المعنى سادت ذرة الكربون على ذرة السيليسيوم، وساد جزيء DNA، ADN على جزيء RNA، ARN.

فلولا الزمن لما كان هنالك معنى للمكان، ولأتى التطور الموجه شوشياً بدون معنى، وما كان ليسير هذا التطور بالضرورة من الأبسط إلى الأعقد بنيةً، ومن الأقل إلى الأكثر أداءً وكفايةً، وما كان ليؤدي إلى ظهور حياة ذكية، وسيغدو كل شيء بلا معنى. فالله خارج حدود الزمن، وعندما خلق الله الكون (بحدوث الانفجار الأعظم) خلق الزمن.

كما كنا عرضنا، في تعريفنا لهذا الكتاب، فإن الهدف الأساسي من كتابته صياغة نظرية، تشرح تطوراً للكون وللحياة (أطلقنا عليه اسم «التطور الموجه ذو المعنى»)، وتبرهن هذه النظرية على حدوثه. إن هذا التطور الموجه ذا المعنى، حدث بفعل القوى الطبيعية الأربع، والقوى اللاتكافؤية الأربع التي انبثقت عنها، والتي نطلق عليها اسم (إرادة الله). إن التطور الداروني يتم وفقاً للسيرورات الثلاث التالية:

1- تنسخ الجينات مرات عديدة (أي التوالد أو التكاثر).

2- اختلاف، أو تغير، بعض الجينات (أي حدوث التغاير بوساطة الطفر).

3- انتقاء بعض الجينات المتخالفة على حساب جينات أخرى (الانتقاء بوساطة التنافس)، الذي بقي البرهان عليه غامضاً حتى الآن.

فالتطور الداروني، يقتصر على الكائنات الحية، ولا يتعرض لتطور الكون والمادة اللاحية. أما النظرية التي يطرحها هذا الكتاب، ويبرهن عليها، فتعالج تطور الكون كله (المادة اللاحية والمادة الحية) على أساس ذري وجزيئي. إن هذا التطور الموجه ذا المعنى بدأ بالانفجار الأعظم (حيث خُلقت متصلة المكان-الزمان، والقوى الطبيعية الثماني الخالدة، وفقاً لسيرورات تم فيها اختراق كل قوانين الفيزياء الأساسية، وأتت كل الثوابت الطبيعية متوائماً بعضها مع بعض)، وتكامل هذا التطور بنشوء حياة ذكية. إن هذا التطور الموجه، يتم بمستوى الجزيئات والذرات، ويحدث بفعل تلك القوى: من الأبسط إلى الأعقد من حيث البنية، ومن الأقل إلى الأكثر أداء وكفاية من حيث الوظيفة. وفي حين أن مفهوم التنافس في التطور الداروني يكتنفه الكثير من الغموض، ولم يتم البرهان عليه على نحو قاطع حتى الآن، فإن تنافس الذرات والجزيئات، يقدم تفسيراً أنيقاً لهذا التطور ذي المعنى، الذي لامكان للمصادفة فيه، وكان (بفعل القوى الثماني) ضرورة حتمية لظهور الإنسان، خليفة الله في الأرض. فعلى هذا الإنسان أن يرتقي إلى مستوى هذه الخلافة [(7.9)].

(7.9) من الطبيعي أن يجد المرء نفسه أمام صعوبة إنهاء عمل يقوم به. إن الأبحاث التي تُنشر يومياً عن أشكال التقدم العلمي المذهل، تجعل موضوع إنهاء هذا الكتاب أمراً صعباً. فكل أسبوع هنالك حقائق جديدة عن موضوعات هذا الكتاب، وعن البراهين الخاصة بنشوء الكون نتيجة الانفجار الأعظم، وعن أنواع التقدم، التي تتحقق في البيولوجيا، وبخاصة في ما يتعلق بالجينوم والبروتيوم البشريين. ←

175- Danchin, A., La Recherche **332** , 27-34 (2000).
176- Kevles, D., La Recherche **332** , 34-39 (2000).
177. Rechenmann, F. et Gautier, Ch., La Recherche **332** , 39-45 (2000).
178. Brown, K., Scientific American , **July (2000)** 50-55.
179. Howard, K., Scientific American , **July (2000)** 58-63.
180. Ezzell, C., Scientific American , **July (2000)** 64-69.
181. Abbott, A., Nature **402**, 715-720 (2000).
182. Powledge, T., Scientific American, **September (2000)** 16-18.
183. Dhand, R., Nature **405**, 819 (2000).
184. Vukmirovic, O. G. and Tilghman , S. M., Nature **405** , 820-822 (2000).
185. Eisenberg, D. et al., Nature **405**, 823-826 (2000).
186. Lockhart, D. J. and Winzeler , E. A., Nature **405**, 827-836 (2000).
187. Pandey, A. and Mann, M., Nature **405**, 837-846 (2000).
188. Risch, N. J., Nature **405**, 847-856 (2000).
189. Roses, A. D., Nature **405**, 857-865 (2000).



إذا ما استعرضنا الأحداث البيولوجية التي شهدها القرن الماضي، نجد ؛ بلا ريب ؛ أن اكتشاف حلزون DNA ، ADN المزدوج من قبل «واتسون» و«كريك» و «ويلكينز» عام 1953 ، يشكل الحدث الأعظم [في 25 نيسان

← ففي 26 حزيران (يونيو) 2000 أُعلن عن انتهاء الخريطة الثالثة (الكيميائية الحيوية) لقرابة 98 في المئة من الجينوم البشري وذلك ضمن مشروع الجينوم البشري (HGP) الذي أشرنا إليه غير مرة، وتموله دول غربية عديدة واليابان والصين. وتبين من سَلسَلة ما يقرب من 98 في المئة من الجينوم البشري أن عدد جينات الإنسان يقارب 30 ألف جين، ويُعتقد أن نسبة هذه الجينات إلى كامل الجينوم (كامل DNA، ADN) تبلغ قرابة خمسة في المئة فقط. كما أعلن في نهاية نيسان (إبريل) من هذا العام (2003) تعرف كامل الجينيوم البشري (كما سبق أن أشرنا غير مرة). وبرزت (أكثر من أي وقت مضى) المضامين الأخلاقية، التي يجب الالتزام بها لدى التعامل مع هذا الإرث البشري، الذي هو ملك الإنسانية كلها، ويسمو عن كل شيء مادي. إن الجينوم البشري هو مقدسٌ لأنه «لغة الله» . يجب أن تكون معرفته متاحة للجميع وبلا مقابل (لأنه خارج حدود المعايير المادية)، ويجب أن يُحرَّم العبث به، أو الإخلال بطريقة انتقاله (الانتقال الجيني العمودي). هذا، ويمكن الرجوع إلى المراجع 175-189 (في الصفحة السابقة) للإطلاع على تفاصيل أوسع عن الجوانب المختلفة لهذا الموضوع ولموضوع البروتيوم البشري، بما في ذلك الأعمال التجارية الكريهة التي تتسابق فيها شركات استثمار الجينوم البشري بغية تحقيق ربح مادي سريع على حساب هذا الإرث المقدس. وعلى إنسان القرن الحادي والعشرين أن يسمو إلى مستوى الهدف من حدوث «**التطور الموجه ذي المعنى**».

ولقد رأينا أن ننهي هذه الحاشية باقتباس المقطع الثالث من قصيدة (بدر شاكر السَّياب) الموسومة بالعنوان «العودة لجيكور»، و(جيكور) (كما سبق أن ذكرنا) بلدة مسقط رأس الشاعر، وتقع جنوب (البصرة):

جَيكورُ، جَيكورُ : أيـن الخبزُ والماءُ ؟
اللـيلُ وافـى وقـد نـامَ الادلاءُ،
والركبُ سهرانُ من جوع ومن عطشٍ،
والريـحُ صَرّ، وكـلُ الأفقِ أصداءُ،
بيـداءُ مـا في مـداها مـا يبيِن بـه
دربٌ لـنا وسماءُ اللـيل عمـياءُ.
جَيكورُ مـدِّي لـنا باباً فندخلَـه
أو سامرينـا بنجمٍ فيـه أضواء !

وأخيراً، نعود هنا لنؤكد ماكنا أوردناه في مقدمة هذا الكتاب بشأن بعض الأمور الجوهرية. فالقوة المادية، والتقدم العلمي، والتفوق التقاني لاقيمة لها إن لم تترافق مع مايمكن تسميته «البنية العقلية»، التي تقوم على أسس أخلاقية و فكرية راسخة، وتنطوي على فهم عميق للتاريخ. وكما هي الحال دائماً عندما يبدوحدث أوفعل ما غير قابل للتفسير، لابد عندئذ من الرجوع إلى التاريخ للبحث عن الأسباب.

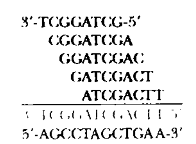
وإذا أمعنا النظر في الأحداث التي وقعت في أواخر القرن الماضي، وبداية هذا القرن، وفي ما يحدث حالياً، يمكننا أن نستنتج ـ آخذين بالعتبار التقدم العلمي، الذي شهدته الآلة العسكرية، والجشع المادي المرضي لمن يقف وراء هذا التقدم، وما يسخر لهذا التقدم من مرافق أخرى ـ يمكننا ان نستنتج أن فقد الحضارة الأنسانية لأمر ممكن، وأن الرجوع إلى الهمجية أمر ممكن أيضاً. لذا، فلقد رأينا أن نختتم هذا الكتاب با قتباس المقطع التالي من قصيدة بدر شاكر السياب (الذي توفي في الكويت نهاية عام 1964) والموسومة بالعنوان (منزل الأقنان): ←

(أبريل) من هذا العام (2003)، يكون قد مضى على هذا الاكتشاف خمسون عاما. انظر المحادثة التي أجراها «جان ريني» John Rennie رئيس تحرير مجلة Scientific American مع «واتسون»، ونشرت في عدد نيسان (أبريل) 2003 من هذه المجلة، المجلد **288**، العدد **24**، الصفحات 48 – 51. إنه إذاً اليوبيل الذهبي لهذا الحدث]. يمكن القول إذاً دونما

← خرائبٌ، فانزع الأبواب عنها تغدُ أطلالا،
خوالٍ، قد تصك الريحُ نافذةً فتُشرِعها إلى الصُبحِ
تطلُ عليكَ منها عينُ بومٍ دائبِ النَّوحِ،
وسلَّمُها المحطمُ، مثل برجٍ دائرٍ مالا
يئنُّ إذا أتته الريحُ تُصعدُه إلى السَّطحِ
سفينٌ تَعركُ الأمواجُ الواحَه.

وتملأ رُحبة الباحه
ذوائُب سدرةٍ غبراءَ، تزحمُها العصافيرُ
تعُد خطى الزمانِ بسقسقات، والمناقيرُ
كأفواه من الديدان تاكلُ جُثةَ الصْمتِ
وتملأُ عالَم المَوت
بَهسهَسةِ الرِثاء، فتَفزعُ الأشباحُ، تحسبُ أنّه النورُ
سيشرق، فهي تُمسكُ بالظلالِ، وَتهجرُ السَاحَه،
إلى الغُرف الدجية، وهي توقظُ ربةَ البيت:
(لقد طلعَ الصباحُ) وحيَن يبكي طفلُها الشَبَحُ
تهَدهدُه، وتنشدُ، (يا خيولَ الموتِ في الواحَه
تعالي واحمليني، هذه الصحراء لا فَرحُ
يرفُ بها ولا أمنٌ، ولا حبٌ ولا راحه).

ألا يا منزلَ الأقنان، سقتك الحيا سُحبُ
تُرَوِّي قبريَ الظمآنْ،
تَلثمُهُ،
وتَنتَحِبُ.

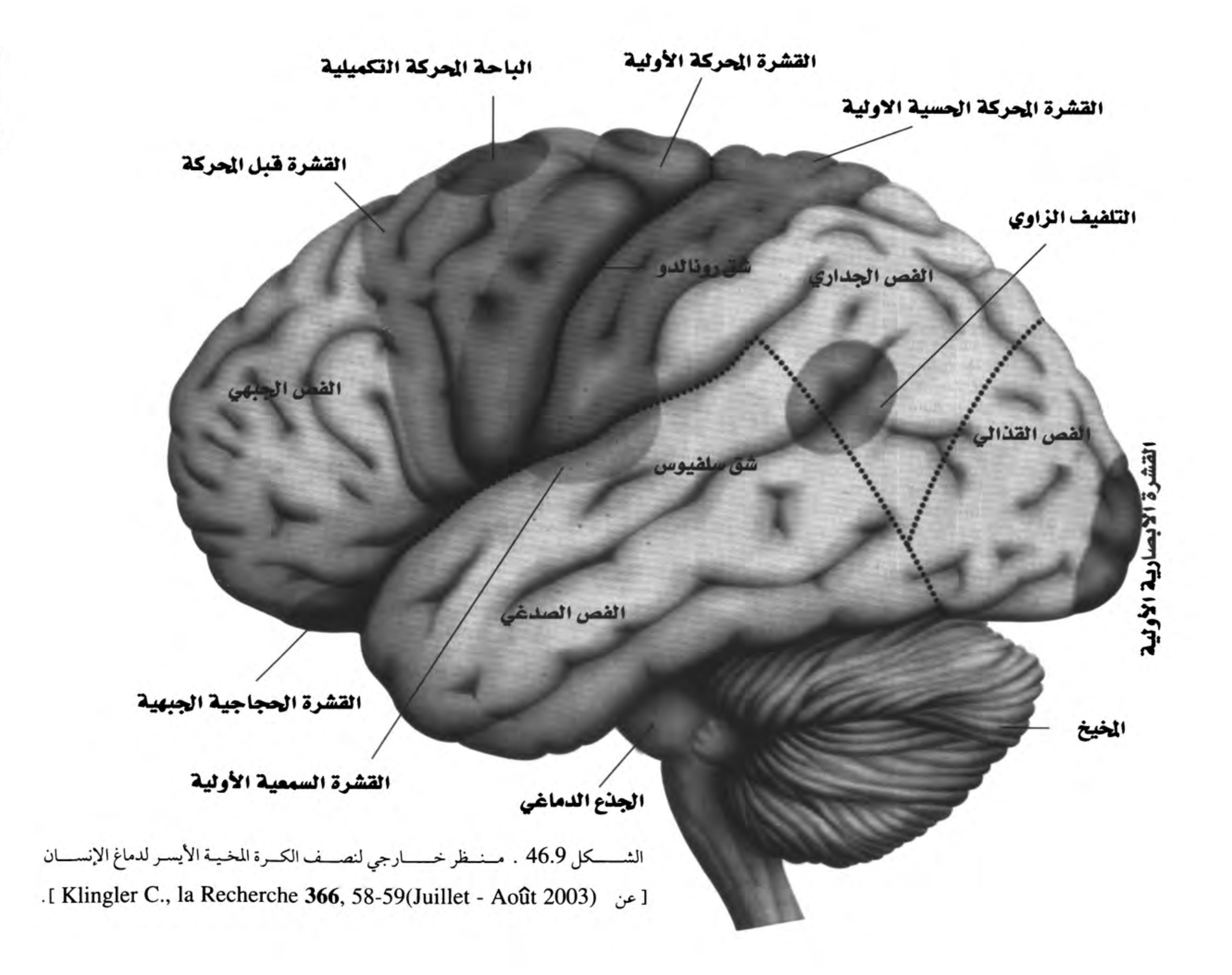


تحفظ إن القرن الماضي (نصفه الثاني تحديداً) هو قرن البيولوجية الجزيئية، وما تفرع عنها من هندسة جينية، وتقانة حيوية، بما في ذلك دراسة عدد كبير من جينومات الكائنات الحية (الحيوانية منها والنباتية)، وفي مقدمتها جينوم الإنسان . فنشأ علم جديد هو الجينوميات . أضف إلى ذلك المعالجة الجينية واللَقاحات الجينية .

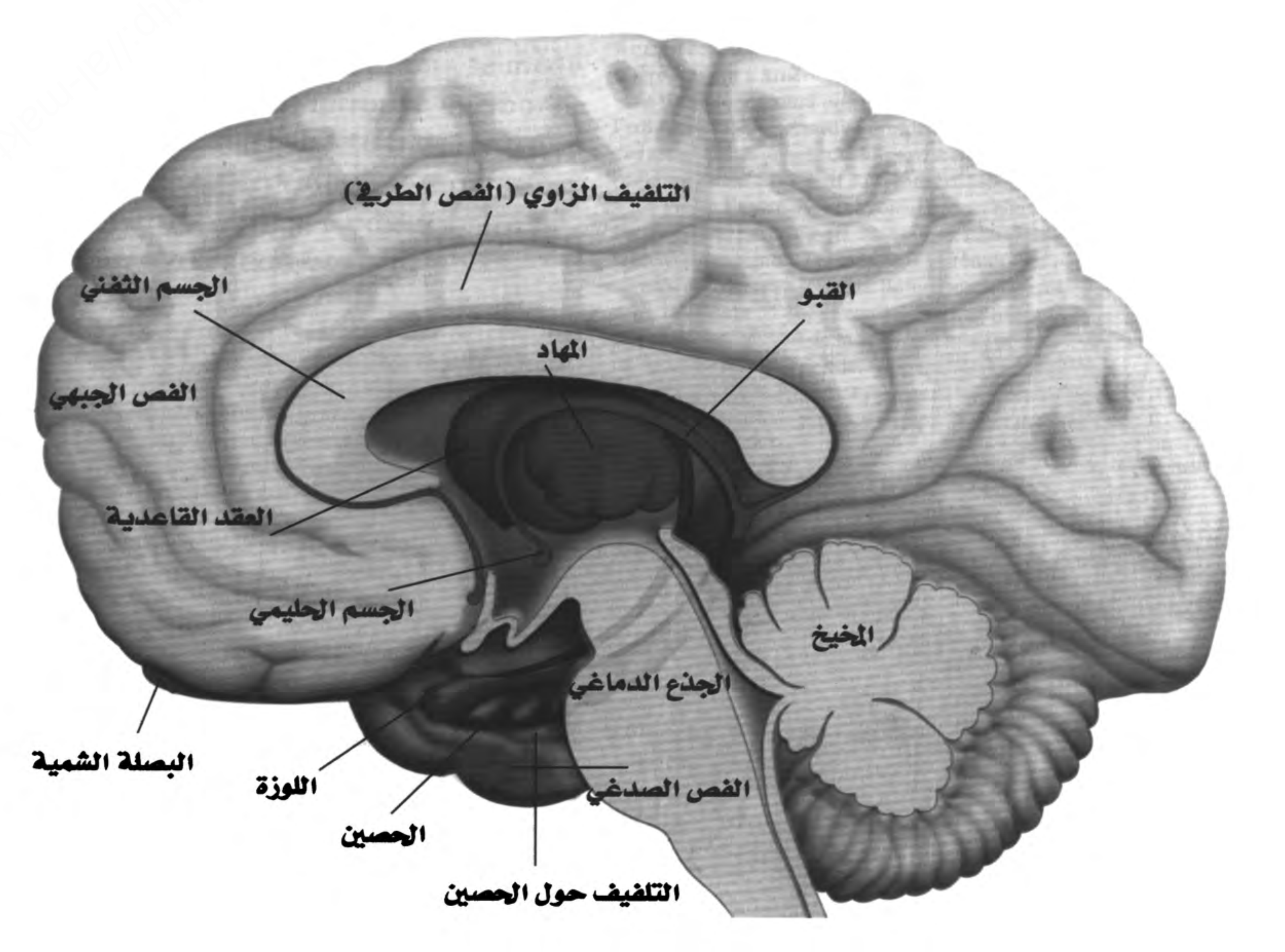
وعلاوة على ما اشرنا إليه في فقرات هذا الفصل ، فإن القرن الحادي والعشرين ، وبعد أن تم تعرف كامل الجينوم البشري، سيشهد تعرف البروتيوم البشري ، وتحديد العلاقة بين الجينات والسلوك (أي بين ما هو مرمَّز في الجين ، وبين ما يقوم به الدماغ من توجيه لسلوك الكائن الحي عامة، والإنسان خاصة) . إن المثال المعروف على ذلك هو الهجرة السنوية للطيور. فالأمهات لا تُعَلِّمُ صغارهَا طريق هجرتها. وعلى الرغم من ذلك، تعود هذه الأبناء إلى موطن الآباء، سالكةً الطريق نفسها. ولدى اكتمال نموها، تهاجر إلى الموطن نفسه الذي رأت النور فيه، سالكة الطريق ذاتها، لتضع البيض. فتنقف الصغار، وتعيد الدورة من جديد. إن معرفة الطريق التي سيتم سلوكها أمر موروث إذاً . فإذا لم نعرف كيف يحدد الدماغ هذه المعرفة ، لا يمكننا فهم العلاقة بين الجين وبين الدماغ.

كما سيشهد القرن الحادي والعشرون تحديد الآليات الجزيئية ، التي تجعل الصفات المكتسبة أمراً موروثاً [كما تنبأ في أواخر القرن الثامن عشر «جان-بابتيست دومونيه لامارك» Jean-Baptiste de Monet Lamarck (1744-1829)، وعارضه بشدة آنئذ «تشارلز داروين» .Charles Darwin (1809-1882)]. ومما لا لبس فيه ، فإن دراسة وراثة الصفات المكتسبة (أو دراسة ما فوق الوراثة epigēnētiques,epigenetics)(يُرجع إلى موضوع التعبير الجيني التفاضلي في الحاشية 12.7) نتيجة ميتلة DNA، ADN، واستلة الهستونات، والعلاقة التبولوجية لهذه الهستونات بالجينات، والتبصيم الجينومي genomic imprinting (أي آليـة تحديد أي من نسختي الجين الأمومية أم الأبوية الـتي ستـعـمـل في مـرحـلـة محددة مـن مـراحـل تـكـون الفرد). وأخـيـراً نوعية عوامـل الإنتسـاخ التي سترتبط بالمحضض. إن هذه الدراسـة سـتـمثل أحد المحـاور الرئيسة لبيولوجية القرن الحادي والعشرين. فلقد تم البرهان مؤخراً [انظر(**Juin 2003**) Bettayeb,K.,Science et Vie, 1029,64-69] على توارث الصفات المكتسبة مدة ثلاثة أجيال في كل من ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster*، وفي نبات «العربية» *Arabidopsis thaliana* . كما تم البرهان على أن حدوث المجاعة في هولندا في أثناء الحرب العالمية الثانية وبعدها، قد ورِّثت أثارها في الأجيال اللاحقة، كما أن السمنة تورَّث هي الأخرى . ونرى أن الداروينية ستعاني من صعوبات تتفاقم باستمرار. فالتنافس بين الأنواع لم يبرهن عليه فعلياً حتى الآن . كما أن هذه النظرية لم تتحدث عن التنافس على مستوى الذرات والجزيئات (أحد أهم موضوعات هذا الكتاب)، واكدت تعسفياً العشوائية والتصادفية دون أن تأخذ بالإعتبار التطور الموجه ذا المعنى في أثناء تشكل الكون بقسميه العضوي واللاعضوي (المحور الرئيس لهذا الكتاب) . كما أن النفي الجازم لتوارث الصفات المكتسبة أمر يصعب الدفاع عنه .

وسيشهد القرن الحادي والعشرون أيضاً تعرف الآلية الجزيئية لنظام ضبط الجودة في الخلية، وكذلك فهم الطريقة التي أثرت بوساطتها الجزيئات الصغرية في توجيه سيرورة التطور الموجه (يُرجع إلى الصفحة 273 ، والشكل 28.7). وسيتم أيضاً التوصل إلى تحديد أكثر عمقاً للعلاقة بين خلايا الجهاز المناعي بعضها ببعض (المشبك المناعي) ، وبين هذه الخلايا وبقية خلايا الجسم (الذات) . وسيؤدي فهم الآلية الجزيئية للذاكرة والإدراك دوراً حاسماً في تعرف العلاقة بين الجينات والدماغ . وسيرسم الدماغ البشري (بنيةً ووظيفةً) (الشكلان 46.9-47.9) لقرون طويلة مستقبل البشرية بسبب صلته المباشرة بالسلوك . فمصير الأنسان سيكوَن رهن المحاكمة التي تتم في هذا العضو .



الشكل 46.9 . منظر خارجي لنصف الكرة المخية الأيسر لدماغ الإنسان
[عن Klingler C., la Recherche **366**, 58-59(Juillet - Août 2003)].



الشكل 47.9 . الوجه الداخلي لنصف الكرة المخية الأيمن لدماغ الإنسان (عن المرجع الوارد في الشكل السابق- 46.9).

فهرس عام



هاني خليل رزق

(السيرة الذاتية الموجزة)

- ولد في بلدة القصير (حمص) بتاريخ 1933/1/5.
- انهى المرحلة الابتدائية في بلدة مسقط رأسه، والمرحلتين الاعدادية والثانوية في مدينة حمص في عام 1952.
- نال درجة الإجازة في العلوم الطبيعية من الجامعة السورية (جامعة دمشق حالياً) في عام 1956.
- حصل على درجة الماجستير في علم الجنين من جامعة أيوا الولاياتية (ايمز، أيو، الولايات المتحدة الأمريكية) في عام 1962.
- حصل على درجة دكتوراه الفلسفة في البيولوجيا من جامعة فيرجينيا (تشارلوتزفيل، فيرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية) في عام 1964.
- انتخب عضواً في جمعية "فاي كابا فاي" (فاي بيتا كابا) للتفوق الأكاديمي، وفي "سيكما زاي"، و"فاي سيكما" للتميز في البحث العلمي.
- عمل كأستاذ لعلم الجنين في كلية العلوم بجامعة دمشق منذ عام 1964.
- عمل كباحث زائر في كلية الطب بجامعة لوي باستور، وفي معهد البيولوجيا الجزيئية والخلوية بستراسبورغ (فرانسا) مدة ثلاث سنوات.
- شغل وظائف علمية - ادارية سنوات عديدة في كل من قسم علم الحيوان بجامعة دمشق، وفي معهد أبحاث الكيمياء والبيولوجيا في مركز الدراسات والبحوث العلمية بدمشق، وفي هيئة الطاقة الذرية السورية.
- نشر في مجلات علمية عالمية مرموقة، وباللغتين الانكليزية والفرنسية، العديد من الأبحاث العلمية. كما أنجز عدداً من المشاريع العلمية الخاصة في كل من الكيمياء الحيوية وعلم المناعة والبيولوجيا الجزيئية.
- أسهم وشارك في عدد كبير من المؤتمرات العلمية الدولية.
- أسهم في تأسيس "جمعية علوم الحياة"، وعمل رئيساً لمجلس إدارتها عدداً من السنوات. كما أسهم إسهاماً أساسياً في تأسيس "اتحاد الحياتيين (البيولوجيين) العرب"، وعمل أميناً عاماً مساعداً لمكتبه التنفيذي لأعوام عديدة.
- يعمل حالياً كمنسق علمي وإداري لأعمال "**مجموعة نظم العلوم والتكنولوجيا**"؛ مقرها دمشق (www. gist - net.org).
- نشر أربعة كتب جامعية في علم الجنين وعلم المناعة والبيولوجيا الخلوية.
- أسهم في تأليف كتاب "الاستنساخ: جدل العلم والدين والأخلاق"، 1997، و"الإيمان والتقدم العلمي"، 2000؛ كلاهما من منشورات دار الفكر بدمشق.